tijdschrift van het

nederlands elektronica- en radiogenootschap

deel 59 nr.4 1994

nederlands elektronica- en radiogenootschap

Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap
Correspondentie-adres: Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.
Gironummer 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Leidschendam.

HET GENOOTSCHAP

De vereniging stelt zich ten doel het wetenschappelijk onderzoek op het gebied van de elektronica en de informatietransmissie en -verwerking te bevorderen en de verbreiding en toepassing van de verworven kennis te stimuleren.
Het genootschap is lid van de Convention of National Societies of Electrical Engineers of Western Europe (Eurel).

BESTUUR

LIDMAATSCHAP

Voor lidmaatschap wende men zich via het correspondentie-adres tot de secretaris. Het lidmaatschap staat open voor academisch gegradueerden en hen, wier kennis of ervaring naar het oordeel van het bestuur een vruchtbaar lidmaatschap mogelijk maakt. De contributie bedraagt *f* 60,- per jaar.
Leden jonger dan 30 jaar betalen gedurende maximaal 5 jaar de gereduceerde contributie van f 30,- per jaar. In bepaalde gevallen kunnen ook andere leden, na overleg met de penningmeester, voor deze gereduceerde contributie in aanmerking komen. Gevorderde studenten komen in aanmerking voor een gratis lidmaatschap, en kunnen daartoe contact opnemen met een van de contactpersonen.
De contributie is inclusief abonnement op het Tijdschrift van het NERG en deelname aan de werkvergaderingen.

HET TIJDSCHRIFT

Het tijdschrift verschijnt gemiddeld vijfmaal per jaar. Opgenomen worden artikelen op het gebied van de elektronica en de telecommunicatie. Auteurs, die publicatie van hun onderzoek in het tijdschrift overwegen, wordt verzocht vroegtijdig contact op te nemen met de voorzitter of een lid van de redactiecommissie.

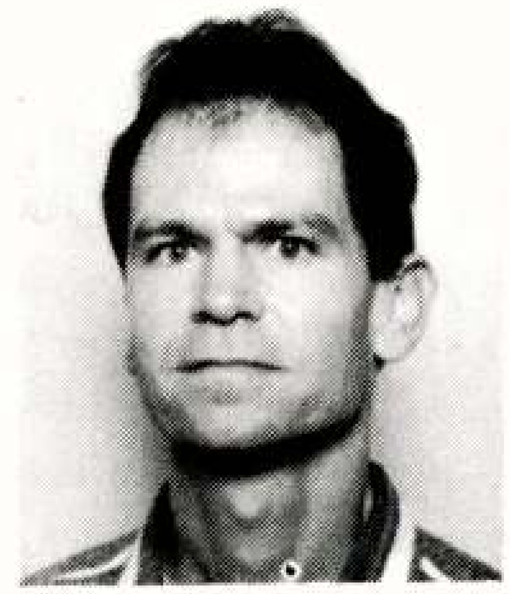
De abonnementsprijs van het tijdschrift bedraagt *f* 60,-.

REDACTIECOMMISSIE

ONTWERPASPECTEN VAN PASSIEVE RADIO-IDENTIFICATIE SYSTEMEN

Jean H.F. Ritzerfeld
Technische Universiteit Eindhoven
Postbus 513, 5600 MB Eindhoven

Design aspects of passive radio identification systems. Radio identification is concerned with the hands-free detection and identification of labelled objects by electromagnetic means. A system for radio identification is called passive when labelling is done with passive identifiers which transmit less radiated power than they receive. In the design of such systems many aspects play an important role such as label dimension, operating frequency, desired range, permitted power level of the interrogator, and antenne configuration. In particular the choice of operating frequency has a large impact on the optimization of the signal-to-noise ratio at the receiver. The influence of the various design parameters is analysed.



I. Inleiding

Dit artikel is geschreven naar aanleiding van de 403e werkvergadering van het NERG rond het thema Radio-Identificatie. In de gepubliceerde voordrachten [1]-[4] wordt een aantal toepassingen van radio-identificatie beschreven op gebied van de veeteelt, de logistiek, de beveiliging en het verkeer. Wat met dit artikel wordt beoogd, is aan te geven welke aspecten een rol spelen bij het ontwerp van een systeem voor radio-identificatie, met name in het geval van een passieve label. De afhankelijkheid van een aantal systeem-parameters, in het bijzonder de werkfrequentie, zal expliciet worden beschreven in termen van de specificaties die aan het ontwerp gesteld worden. De keuze van de werkfrequentie hangt uiteraard sterk af van de toepassing [3] en de implicaties voor het spectrum [4], maar de afgeleide verbanden zullen zoveel mogelijk in algemene zin worden gesteld. Vooraf geven wij echter een korte inleiding over wat radio-identificatie inhoudt, wat de belangrijkste toepassingen zijn en wat de principes zijn waarop de werking is gebaseerd.

Onder radio-identificatie wordt verstaan het op afstand herkennen van personen of objecten via elektromagnetische weg. Daartoe wordt het te herkennen object voorzien van een label of identifier die een voor dat object specifiek elektromagnetisch golfpatroon uitzendt, na activering door een primair veld waarmee de ruimte wordt afgetast. Een dergelijke gecodeerde label wordt ook wel transponder genoemd, omdat hij een antwoord (response) terug kan zenden (transmit) naar de ondervrager of interrogator. Een radio-identificatiesysteem wordt passief genoemd wanneer de identifier passief is, wat wil zeggen dat deze niet over een eigen energiebron (een batterij) beschikt.

De markt voor radio-identificatiesystemen is de laatste jaren explosief gegroeid. De grootste vraag ligt op het terrein van de toegangsbeheersystemen en de voertuigherkenningssystemen. Bij de toegangsbeheersystemen wordt gestreefd naar hands-free identificatie van personen bij het betreden van gebouwen of ruimten. De aanduiding 'hands-free' wordt gebruikt om aan te geven dat de identificatie automatisch gebeurt, d.w.z. zonder extra handeling van de gebruiker. Dit i.t.t. de proximity systemen, waarbij de identifier in de buurt van een reader moet worden gehouden of, zoals in het geval van een magneetkaart, door een sleuf moet worden gehaald. In de meeste gevallen is de identifier een chip-kaart van het `aangedreven' type. Daarbij wordt de energie van het activerende (primaire) elektromagnetische veld gebruikt enerzijds om het elektronische circuit op de kaart te voeden, en anderzijds om de energie voor het identificerende (secundaire) veld van de transponder te leveren. Daarmee is de energie van het secundaire veld onherroepelijk kleiner dan die van het primaire veld, zodat een aangedreven chip-kaart tot de passieve labels moet worden gerekend (ondanks de actieve elektronica op de kaart). Deze systemen vallen dus onder de passieve radio-identificatie. De elektronica op een chip-kaart is in het algemeen beperkt tot een gelijkrichter, een geheugen voor een binaire code in ROM en een modulator die de code op een draaggolf verzendt door toepassing van phase (PSK) of frequency (FSK) shift keying. Ook actieve systemen voor persoonsidentificatie zijn ontwikkeld, in het bijzonder voor die gevallen waarin intelligentere elektronica op de kaart wordt verlangd. Men spreekt dan van smartcards. Deze bevatten vaak een groter geheugen in RAM dat in veel gevallen ook beschrijfbaar is. Een belangrijke andere reden om te kiezen voor batterij-voeding is de grotere afstand die kan worden overbrugd. Met name voor de voertuigidentificatie worden vooral actieve systemen beschouwd. Men denkt dan aan automatische registratie van rijdend verkeer bij tolwegen. Dit soort systemen moet bovendien in hoge mate fraudeongevoelig zijn. De werkfrequentie ligt in het gigahertz-bereik, mede omdat met microgolven sterkere bundeling mogelijk is [5].

Wanneer we ons beperken tot de passieve systemen, zijn er nog twee belangrijke toepassingen te noemen die de ontwikkeling vanuit de historie gezien hebben bepaald, nl. de beveiligingssystemen en de logistieke systemen. Wat de laatste betreft was (en is) de barcodelabel de meest toegepaste representant. Daar we ons concentreren op radio-identificatie willen we de optische systemen buiten beschouwing laten. In de logistiek worden echter ook 'aangedreven' labels toegepast. Puur passieve labels (zonder actieve elektronica) werden van oorsprong toegepast in de artikelbeveiliging. Men kan dan spreken van radio-detectiesystemen, omdat het bij beveiliging tegen diefstal volstaat om een object te kunnen detecteren zonder het te kunnen identificeren. Radio-identificatie met puur passieve labels is echter zeer wel denkbaar [6] en is een belangrijke representant van de hier te beschouwen systemen.

De labels in radio-detectiesystemen zijn gebaseerd op het principe van resonantie of van niet-lineariteit. In de ene uitvoeringsvorm is de label een elektrisch resonant circuit. Detectie is mogelijk doordat bij de resonantie frequentie een secundair veld van de label wordt opgewekt in tegenfase met het primaire veld, waardoor de label zichtbaar is als een dip in het ontvangen veld. Identifiers zonder actieve elektrische componenten zijn mogelijk door gebruik te maken van multiple resonanties [7]. In de andere uitvoeringsvorm wordt gebruik gemaakt van de niet-lineariteit van een elektrisch element (een diode

of varicap) of van een magnetisch materiaal (hysterese). Detectie is mogelijk doordat het secundaire veld harmonischen van het primaire veld bevat. Een nadeel van de niet-lineaire systemen is dat er grote veldsterkten nodig zijn. De werkfrequentie van de resonante systemen is enkele mega-hertz, terwijl de niet-lineaire systemen veelal laagfrequenter zijn.

De kwaliteit en de betrouwbaarheid van een radio-identificatiesysteem wordt uiteindelijk bepaald door de signaal/ruis-verhouding bij de ontvanger van het secundaire label-signaal. Deze *snr* is een functie van de label-dimensies, de afstand van de label tot de ontvanger en de frequentie. Bij passieve radioidentificatie is de *snr* bovendien sterk afhankelijk van de afstand van de label tot de zender. Doordat zender en ontvanger van een radio-identificatiesysteem in het algemeen verenigd zijn in een interrogator, is er meestal slechts sprake van een enkele afhankelijkheid van de afstand. In dit artikel worden deze afhankelijkheden gekwantificeerd. Vooral de afhankelijkheid van de frequentie is veel minder doorzichtig dan verwacht. Vele factoren spelen mee bij de uiteindelijke keuze van deze belangrijke systeemparameter. Niet in het minst is daarbij het toegestane zendvermogen van belang, dat door allerlei nationale en internationale wettelijke eisen is gelimiteerd. Daarnaast bepaalt de werkfrequentie ook mede de genoemde afhankelijkheid van de afstand, doordat het verschil maakt of de label zich in het verre dan wel in het nabije veld van de zender bevindt. Een belangrijke factor in de frequentiekeuze is verder ook de efficiency van de label, welke bepaalt hoe goed de label in staat is om energie aan het primaire veld te onttrekken. Deze efficiency blijkt sterk frequentie-afhankelijk te zijn.

II. Effectieve apertuur en opgenomen vermogen van een label

We beschouwen een label in een radio-identificatiesysteem met de afmeting van een creditcard (48 cm^2), die vaak als standaardformaat wordt genomen. Voor frequenties kleiner dan 1 GHz is deze afmeting klein t.o.v. de golflengte. Een antenne op de label is dus ofwel een magnetische dipool (ring-antenne) ofwel een elektrische dipool (lineaire antenne). We starten de volgende beschouwingen uitgaande van een ring-antenne en laten zien dat de daarvoor gevonden resultaten gemakkelijk kunnen worden vertaald naar het geval van een elektrische dipool. Stel een magnetische dipool met oppervlak A bevindt zich in een elektromagnetische veld met hoekfrequentie ω en vermogensstroomdichtheid $S = Z_0 H^2 = E^2 / Z_0$. Hierin zijn E en H effectieve waarden van elektrisch en magnetisch veld en Z_0 de impedantie van de vrije ruimte ($\sqrt{\mu_0/\varepsilon_0}$). Wanneer de richting van het magneetveld loodrecht op het vlak van de dipool verloopt, wordt er een effectieve nullast-spanning in de draadwinding geïnduceerd (bepaald door de afgeleide van de flux) ter waarde

$$V = \omega\mu_0 H A = kAZ_0 H = kAE \tag{1}$$

waarin k het golfgetal $2\pi/\lambda = \omega\sqrt{\mu_0\varepsilon_0}$ aangeeft. Het maximale vermogen dat de dipool aan het veld kan onttrekken, wordt gegeven door

$$P_{max} = \frac{V^2}{4R_t} = \frac{k^2A^2Z_0}{4R_t}S = \sigma\ S \tag{2}$$

waarin R_t de totale weerstand van de draadwinding is, bepaald door de som van stralingsweerstand R_r en verliesweerstand R_l, en waarin σ het schijnbare oppervlak of de effectieve apertuur van de antenne is. Hierbij wordt R_l veroorzaakt door de eindige geleiding van de draad (koperverlies) en wordt R_r bepaald door $I^2 R_r$ gelijk te stellen aan het uitgestraalde vermogen indien de antenne in de zendsituatie werkt en een stroom I voert. De effectieve apertuur σ kan in verband worden gebracht met de antennewinst of gain g,

$$\sigma = g\frac{\lambda^2}{4\pi} = g\frac{\pi}{k^2} \tag{3}$$

waarin g samenhangt met het (vermogens-)stralingsdiagram en de efficiency van de antenne. Deze grootheden worden meestal gedefinieerd aan de hand van zendsituatie. De efficiency is dan gegeven als het quotiënt van het uitgestraalde vermogen P_r en het toegevoerde vermogen P_{in}, zodat

$$\eta = \frac{P_r}{P_{in}} = \frac{R_r}{R_r + R_l} \tag{4}$$

en $\eta = 1$ voor de verliesvrije antenne. Het stralingsdiagram bepaalt de richtwerking van de antenne. Deze is voor een dipool-antenne zwak, hetgeen blijkt uit de richtfactor d, die slechts 1.5 bedraagt. (Zie [8] voor de bepaling van het stralingsdiagram en de *directivity* van een dipool.) De gain g is gedefinieerd als het produkt van de efficiency en de richtfactor.

$$g = \eta \cdot d = \frac{3}{2}\frac{R_r}{R_r + R_l} \tag{5}$$

Combinatie van de uitdrukkingen voor σ in (2) en (3) met de waarde van g in (5) levert dan de bekende formule voor de stralingsweerstand van een magnetische dipool

$$R_r = \frac{Z_0}{4\pi d}k^4A^2 = \frac{\pi}{6}Z_0(ka)^4 \tag{6}$$

waarin a de straal van de cirkelvormig veronderstelde ring-antenne is.

Wanneer we de gain van een ring-antenne met verliezen willen bepalen, dienen we nog een uitdrukking te vinden voor de verliesweerstand R_l. Daartoe kunnen we de draadweerstand bepalen, rekening houdend met het skineffect. Deze aanpak zullen we later (Sectie IV) volgen. Hier voeren we liever de kwaliteitsfactor Q in van het resonante circuit dat ontstaat wanneer we de ring-antenne (die inductief is) optimaal afsluiten met een capacitieve load voor vermogensaanpassing. De verliezen volgen dan uit $Rl = \omega L/Q$, waarin L de inductiviteit van de ring-antenne is. Deze R_l bevat dan meteen ook de verliezen van de condensator in het resonante circuit. De reactantie van een cirkelvormige draadlus met straal a wordt gegeven door [8]

$$\omega L = k\ aZ_0\{\ln(8 \cdot \frac{a}{b}) - c\} \approx \pi kaZ_0 \tag{7}$$

waarin $2b$ de draaddikte is en de constante c afhangt van de veronderstelde stroomverdeling op de doorsnede van de draad ($c = 2$ zonder skineffect en $c = 1.5$ met skineffect). De factor tussen accolades hangt slechts zwak af van de straal van de ring-antenne en de draaddikte, zeker als we bij een grotere straal a draad met een grotere doorsnede gebruiken. Voor het gemak hebben we deze geometriefactor in (7) daarom gelijk gesteld aan de constante π. Voor de gain van een magnetische dipool vinden we dan

$$g = \frac{Q(ka)^3 d}{Q(ka)^3 + 4d} \tag{8}$$

Merk op dat de gain gelijk is aan de richtfactor d voor zowel het verliesvrije geval ($Q \rightarrow \infty$), als voor hoge frequenties. Daarbij moeten we wel bedenken dat de ring-antenne dan niet noodzakelijkerwijs

klein is t.o.v. de golflengte. Preciezer: $g=d$ voor $ka>(4d/Q)^{1/3}$, d.w.z. $ka>0.25$ als we stellen d=1.5 en Q =400. In dit frequentiegebied wordt het gegeven model van de antenne-impedantie als een serieschakeling van een spoel en een weerstand incorrect. Wanneer de omtrek van de draadlus in de buurt van de halve golflengte komt (ka =0.5), wordt de ring-antenne sterk resonant [8] en de richtfactor wordt voor ka >0.5 frequentie-afhankelijk. Labels ontworpen voor dit frequentiegebied maken echter zelden gebruik van een ring-antenne. Met a =4 cm (creditcard) geldt dat ka =1 bij f =1.2 GHz. Voor frequenties kleiner dan ongeveer 300 MHz kunnen we dus stellen dat een label ter grootte van een creditcard een maximaal vermogen P_{max} aan een veld met vermogensdichtheid S kan onttrekken, gegeven door

$$P_{max} = \frac{1}{4}\pi Q\, ka^3 S \tag{9}$$

Door de evenredigheid van Q met de wortel uit de frequentie (Sectie IV), is dit vermogen afhankelijk van de frequentie tot de macht 1.5 en verder kubisch afhankelijk van de (lineaire) dimensie.

Om een elektronisch circuit te kunnen voeden, wil men voor de aangedreven labels in de praktijk zoveel mogelijk spanning opwekken. Daartoe zijn er twee mogelijkheden beschikbaar. Ten eerste kan natuurlijk de spanning over de condensator waarmee de ring-antenne wordt afgesloten als ontvangen spanning worden opgevat. Deze is Q maal zo groot als de in (1) gegeven inductie-spanning V in de winding. Aan de waarde van P_{max} zoals gegeven in (9) verandert dit uiteraard niets, omdat de inwendige weerstand van deze bron Q^2 keer zo groot is. Ten tweede kan de ring-antenne n windingen ($n \neq 1$) hebben. De inductie-spanning wordt dan nV, terwijl in het ideale geval dat de flux door alle windingen wordt omvat, de stralingsweerstand R_r en de inductiviteit L met n^2 toenemen. De verliesweerstand R_l is echter minder dan kwadratisch afhankelijk van n. Dus wanneer de verliezen overheersen ($R_l>R_r$), zoals verondersteld in (9), kan P_{max} worden vergroot. In eerste instantie zou men verwachten dat de verliesweerstand zelfs evenredig met n is; door het proximity-effect is dit echter niet het geval [8]. Vermindering van dit effect door een grotere spacing tussen de windingen levert een grotere lekflux op, zodat de kwaliteitsfactor Q uiteindelijk slechts zwak afhankelijk is van n. Dit laatste geldt nog in versterkte mate, doordat de kwaliteitsfactor mede wordt bepaald door de verliezen van de capacitieve load. Niettemin kan ook voor lage frequenties voldoende spanning in de ring-antenne worden geïnduceerd door het gebruik van meerdere windingen. Een dergelijke optie staat voor de elektrische dipool niet ter beschikking, zodat deze dan ook niet kan worden toegepast voor lage frequenties (tot enkele MHz).

Rekenvoorbeeld.

Een veelgebruikte frequentie-band voor de activering van aangedreven labels is de band van 100 tot 150 kHz. We stellen f =125 kHz, dus k =2.62 .10^{-3}/m. Een ring-antenne met oppervlak A = 48 cm², n = 100 windingen en kwaliteitsfactor Q=90, geplaatst in een veld met vermogensdichtheid S=1mW/cm² (een bovengrens aan het toegestane vermogen), levert een inductie-spanning

$$V = n\, k\, A\sqrt{SZ_0} = 77\ \text{mV} \quad \text{ofwel} \quad Q \cdot V = 7\ \text{V}$$

als spanning over de afsluitcondensator, d.w.z. voldoende als voedingsspanning voor een elektronisch circuit. Het opgenomen vermogen is maximaal 110μW en de efficiency is slechts 1.6 . 10^{-11}. Dit laatste is het gevolg van de extreem kleine stralingsweerstand, Rr = 2 .10^{-10} Ω. De verliesweerstand R_l =13Ω wordt bij het gegeven grote aantal wikkelingen op de spoel voornamelijk bepaald door de verliezen van de condensator. Deze heeft een capaciteit C =1 nF, terwijl voor de spoel (zonder lekflux) wordt gevonden: L =1.5 mH.

Ter afsluiting van deze Sectie beschouwen we de toepassing van de elektrische dipool met lengte l als alternatief voor de magnetische dipool. Er wordt dan een (nullast-)spanning $l\,E$ ontvangen. Vergelijken we dit met (1), dan zien we dat we in uitdrukking (6) voor de stralingsweerstand slechts kA door l hoeven te vervangen om de stralingsweerstand van een elektrische dipool te vinden.

$$R_r = \frac{Z_0}{4\pi d}k^2 l^2 = \frac{Z_0}{6\pi}(kl)^2 \tag{10}$$

Een elektrische dipool kan worden gemodelleerd als een serieschakeling van een condensator en een weerstand. Voor de reactantie wordt gevonden [8]

$$-\frac{1}{\omega C} = -\frac{Z_0}{\pi kl}\{\ln(2 \cdot \frac{l}{b}) - 1\} \approx -\frac{Z_0}{kl} \tag{11}$$

waarin de geometriefactor tussen accolades ($2b$ is de draaddiameter) voor het gemak weer gelijk is gesteld aan de constante π. In deze uitdrukking is bovendien rekening gehouden met het skineffect. De verliesweerstand volgt nu uit R_l=1/($Q\omega C$), zodat de gain gelijk is aan

$$g = \frac{Q(kl)^3 d}{Q(kl)^3 + 4\pi d} \tag{12}$$

Tenslotte vinden we voor het maximale vermogen dat een elektrische dipool aan het veld kan onttrekken (voor frequenties tot 300 MHz)

$$P_{max} = \frac{1}{4}Q\, kl^3 S$$

ter vervanging van (9) voor de magnetische dipool. Wat dit vermogen betreft maakt het dus weinig verschil of we een ring-antenne of een lineaire antenne gebruiken. Zoals gezegd kunnen we met een elektrische dipool echter veel minder spanning opwekken, zodat deze voor lage frequenties niet kan worden toegepast. Daar komt nog bij dat, wat de zender betreft, het opwekken van een elektrisch veld van enige sterkte bij lage frequenties om dezelfde reden onpraktisch is. Het genereren van een magnetisch veld kan daarentegen weer gebeuren met een ring-antenne met meerdere windingen.

III. Ontvangen signaalvermogen en signaal/ruis-verhouding

We beschouwen een passieve label op een afstand r van een interrogator, d.w.z. een zend/ontvang-inrichting. De zender tast met een zeker totaal vermogen P_t en volgens een bepaalde richtfunctie $D_t(\upsilon,\varphi)$ de ruimte af. De label neemt hiervan een gedeelte P_i op en zendt op zijn beurt een secundair veld met vermogen P_o uit. Van dit vermogen wordt weer een deel P_r door de ontvanger opgenomen. Het ontvangen vermogen is uiteraard evenredig met het gezonden vermogen. De vraag is echter hoe P_r afhangt van de afstand r, de gain van de label, en de frequentie.

Om te beginnen vragen we ons af wat het vermogen P_o van het secundaire veld van de label is, gegeven dat er maximaal een vermogen P_i kan worden opgenomen. Daartoe moeten we niet alleen de (stralings-)efficiency η van de label kennen, maar ook de efficiency van de elektrische omzettingen. In het geval van een chip-kaart zal gelijkrichting ten behoeve van de voeding niet geheel zonder verliezen gaan, terwijl bovendien niet alle vermogen dat door de elektronica wordt opgenomen, wordt gebruikt voor het opwekken van het secundaire veld. In het geval van een puur passieve label van het niet-lineaire type zal het vermogen in de opgewekte harmonischen

in het secundaire veld beduidend kleiner zijn dan het vermogen van de grondgolf in het primaire veld. Slechts wanneer we te maken hebben met een puur passieve label van het resonante type zullen er geen bijkomende elektrische verliezen optreden, omdat primair en secundair veld dan dezelfde frequentie hebben en door dezelfde ring-antenne worden ontvangen resp. verzonden, zonder tussenkomst van enige elektronica. In de volgende beschouwing gaan we uit van dit geval. Extra verliezen kunnen dan alsnog worden verdisconteerd in een factor η_c , de efficiency van de elektrische omzettingen. Stel dat er in de label-antenne met inductiviteit L een spanning V wordt geïnduceerd. Afsluiting met een capaciteit C levert bij resonantie een stroom $I = V/(R_r+R_l)$, met $R_l = \omega L/Q = 1/(Q\omega C)$. Het vermogen P_o van het secundaire veld is $I^2 R_r$, per definitie, terwijl het maximale vermogen P_i dat aan het veld kan worden onttrokken gelijk is aan ¼ $I^2(R_r+R_l)$, in overeenstemming met Sectie II. Met $\eta = R_r/(R_r+R_l)$ geldt dus

$$P_o = 4\,\eta P_i \tag{14}$$

als relatie tussen de vermogens van primair en secundair label-veld. De vermogensdichtheid van het primaire veld ter plekke van de label, op een afstand r van de zender, heeft een maximum

$$S_l = \frac{d_t P_t}{4\pi r^2} \tag{15}$$

waarin d_t de richtfactor van de zender en P_t het totale uitgestraalde vermogen is. Het secundaire veld van de label heeft vervolgens een vermogen

$$P_o = 4\eta g \frac{\pi}{k^2} S_l = \eta^2 d_l \frac{d_t P_t}{k^2 r^2} \tag{16}$$

waarbij de gain van de label is geschreven als het produkt van de efficiency η en de richtfactor d_l. Hierbij is verondersteld dat het maximum van de richtfunctie van de label samenvalt met dat van de zender. Het vermogen P_r dat door de ontvanger maximaal kan worden opgenomen, volgt uit de vermogensdichtheid S_r ter plekke van de ontvanger.

$$P_r = d_r \frac{\pi}{k^2} S_r = d_r \frac{\pi}{k^2} \frac{d_l P_o}{4\pi r^2} = g^2 \frac{d_t d_r}{4k^4 r^4} P_t \tag{17}$$

Hierin herkennen we de (verwachte) evenredigheid met de richtfactor van zender en ontvanger (aangeduid met d_r) en een kwadratische afhankelijkheid van de gain g van de label. Wanneer we het gevonden resultaat (17) verder bekijken, kunnen daarbij nog de volgende kanttekeningen worden geplaatst.

- Het vierde-graads verband met de afstand r komt overeen met de bekende RADAR-formule. In het Fraunhofer gebied (het verre veld) van een antenne zijn elektrisch en magnetisch veld evenredig met r^{-1} en de vermogensdichtheid $S = E \cdot H$ dus met r^{-2}. Doordat we 'heen en terug' zenden, ontstaat de evenredigheid met r^{-4}. In de gegeven afleiding hebben we impliciet verondersteld dat de label zich in het verre veld bevindt. In het nabije veld van een ring-antenne is H evenredig met r^{-3}. We kunnen dus verwachten dat het ontvangen signaalvermogen P_r dan met r^{-12} zal verlopen (Sectie IV).
- Zolang de label (ring-antenne met straal a) klein is t.o.v. de golflengte, is zijn gain gelijk aan $\frac{1}{4}Q(ka)^3$. Het ontvangen signaalvermogen is blijkbaar evenredig met de zesde macht van de afmeting en de derde macht van de frequentie. Bij dit laatste is verondersteld dat Q evenredig is met $\sqrt{k}$. Wanneer de label bij een andere frequentie ontvangt dan zendt (met resp. golfgetallen k_1 en k_2) en/of twee verschillende ring-antennes (stralen resp. a_1 en a_2) gebruikt, moeten we g^2 in (17) vervangen door $g_1(k_1a_1) \cdot g_2(k_2a_2)$.
- Het vermogen volgens (17) is een maximum in de zin dat de maxima van de richtfuncties van label, zender en ontvanger als samenvallend zijn verondersteld. Wat zender en ontvanger betreft is dit een redelijke aanname, omdat deze uiteraard met hun maximum gericht zullen zijn op de plaats waar de label verwacht wordt te passeren. Indien gewenst, kan de hoekafhankelijkheid van zender en ontvanger in het resultaat worden ingebracht door d_t en d_r in (17) te vervangen door de richtfuncties $D_t(\upsilon,\varphi)$ en $D_r(\upsilon,\varphi)$. Wat de label betreft hangt de gain af van zijn oriëntatie in het veld. De in de ring-antenne geïnduceerde spanning (1) in een lineair gepolariseerde vlakke golf is evenredig met sin (υ), wanneer $\upsilon = \pi/2$ de hoek is waarbij de veldlijnen van het primaire magnetische veld loodrecht op het vlak van de ring-antenne staan. Daarmee worden ook de effectieve apertuur en de gain evenredig met sin (υ). Een extra vrijheid van oriëntatie kan worden bereikt door circulaire polarisatie (H-vector draait in een vlak loodrecht op de richting van de straling). Voor volledige vrijheid van oriëntatie kan de label daarnaast ook vanuit twee richtingen afwisselend worden aangestraald.
- In (17) is verder verondersteld dat de ontvanger optimaal is afgesloten voor vermogensaanpassing en een efficiency $\eta = 1$ heeft (zijn gain is gelijk gesteld aan de richtfactor d_r). Het laatste zal in het algemeen niet het geval zijn, maar voor de volgende berekening van de signaal/ruis-verhouding maakt het geen verschil. Een ontvanger met verliezen zal namelijk net zoveel minder ruisvermogen ontvangen als dat hij minder signaalvermogen ontvangt.

De ontvanger (zonder verliezen, met vermogensaanpassing) neemt maximaal een ruisvermogen $N_r = N_0 \cdot B_n$ op, dat available noise power wordt genoemd. Hierin is B_n de (ruis-)bandbreedte van de ontvanger (in Hz) en N_0 een spectrale vermogensdichtheid (in W/Hz), die constant wordt verondersteld (witte ruis) over de (kleine) bandbreedte van de ontvanger. In de communicatie wordt N_0 meestal geschreven als $k_b T_a$ waarin k_b de constante van Boltzmann is ($1.38\ 10^{-23}$ J/K) en T_a de antenne-temperatuur (in K). Deze is in het geval van thermische ruis gelijk aan de omgevingstemperatuur (T_e). Voor een indoor systeem overheerst echter de man-made noise ($T_a >> T_e$). Metingen binnenskamers, in een ruimte waarin computer-apparatuur en TL-verlichting de grootste stoorbronnen vormen, leveren op dat N_0 langzaam afneemt met de frequentie en in het interessante gebied van 1 tot 100 MHz bij benadering omgekeerd evenredig met de frequentie verloopt.

$$\mathcal{N}_0 \approx \frac{10^{-15}}{k} \frac{\mathrm{W}}{\mathrm{m\,Hz}} \tag{18}$$

De bandbreedte van de ontvanger wordt bepaald door de totale meettijd t_m waarin de label kan worden geobserveerd. Voor het detecteren van een sinus (het label-signaal) in witte ruis vindt men een ruisbandbreedte

$$B_n = \int_0^\infty G(f)\mathrm{d}f = \int_0^\infty \mathrm{sinc}^2\{(f-f_0)t_m\}\mathrm{d}f = \frac{1}{t_m} \tag{19}$$

waarin G het genormeerde vermogensspectrum is van een sinus met frequentie f_0 is over een tijdsinterval t_m. Daarbij maakt het geen verschil of de ontvanger in werkelijkheid een aantal metingen uitvoert over een kleiner interval en integreert over het aantal. Zolang deze integratie coherent (d.w.z. met fase-gelijkheid) gebeurt, bepaalt

slechts de totale meettijd de resulterende signaal/ruis-verhouding. Veelal beschikt de ontvanger niet over fase-informatie van het label-signaal, zodat incoherente integratie moet worden toegepast. Het verlies in *snr* dat daarmee gepaard gaat wordt in de literatuur aangeduid met *integratieverlies* (integration loss) en kan in het eindresultaat eenvoudig alsnog worden verdisconteerd. Voor toegangsbeheersystemen rekent men meestal met een observatie-tijd van 0.1 seconde, hetgeen neerkomt op een ruisbandbreedte van 10 Hz. Voor de *snr* vinden we tenslotte

$$snr = \frac{P_r}{N_r} = \frac{E_s}{\mathcal{N}_0} = g^2 \frac{d_t d_r}{4k^4 r^4} \frac{P_t}{\mathcal{N}_0 B_n} \tag{20}$$

waarin de energie E_s van het ontvangen signaal is ingevoerd. De ontvanger detecteert uiteindelijk een signaal met een eindige energie $E_s = t_m \cdot P_r = P_r/B_n$ in witte ruis met spectrale dichtheid N_0. In de communicatie-theorie is de verhouding "E_s over N_0" de enige grootheid die bekend hoeft te zijn om te foutenkans (de kans op foutieve identificatie) van de optimale ontvanger te bepalen [9]. We merken nog op dat de gevonden *snr* met gebruikmaking van (18) evenredig is met k^4, althans bij gegeven zendvermogen P_t. De limiet aan dit vermogen, zoals bepaald door wettelijke eisen, hangt echter sterk van de frequentie af. Daarnaast maakt het, zoals reeds eerder is opgemerkt, een groot verschil of de label zich in het verre veld dan wel in het nabije veld van de interrogator bevindt. Tenslotte speelt ook mee of de stoorbronnen nabij of ver zijn. Een en ander wordt onderzocht in de volgende Sectie.

IV. Het effect van nabije of verre veld benadering

In de volgende beschouwing gaan we ervan uit dat de zender een magnetisch dipoolveld opwekt, wat betekent dat de statische veldcomponent evenredig is met r^{-3}. Afhankelijk van de zendantenne-configuratie kan het veld van de zender ook termen bevatten van een quadrupoolveld (H hangt af van r^{-4}) of een octopoolveld (evenredig met r^{-5}). Het optreden van dit soort snel afnemende veldtermen kan gunstig zijn voor de signaal/ruis-verhouding, met name wanneer de label zich in het gebied bevindt waar deze overheersen. In eerste instantie veronderstellen we echter dat zowel zender als label, als ook stoorbronnen magnetische dipoolvelden opwekken. Wanneer we het veld van een magnetische dipool bekijken, dan herkennen we termen evenredig met r^{-1} (het verre veld), r^{-2} en r^{-3} (het nabije of quasi-statische veld) [8].

$$\begin{aligned} H_r &= -j\,k^3 \frac{m}{2\pi}\left(\frac{1}{(jkr)^2} + \frac{1}{(jkr)^3}\right)\cos\vartheta\, e^{-jkr} \\ H_\vartheta &= -j\,k^3 \frac{m}{4\pi}\left(\frac{1}{jkr} + \frac{1}{(jkr)^2} + \frac{1}{(jkr)^3}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \\ E_\varphi &= j\,k^3 \frac{m}{4\pi} Z_0 \left(\frac{1}{jkr} + \frac{1}{(jkr)^2}\right)\sin\vartheta\, e^{-jkr} \end{aligned} \tag{21}$$

Hierin is m het dipoolmoment $I \cdot A$ (stroom maal oppervlak) en zijn E en H complexe amplituden van elektrisch en magnetisch veld. De veldcomponenten H_φ, E_r en E_υ zijn nul. We merken op dat het verre veld maximaal is in de richting $\upsilon = \pi/2$ en evenredig is met k^2 (zodat de stralingsweerstand varieert met k^4). Het nabije veld is net maximaal op de as van de dipool ($\upsilon = 0$) en heeft daar een grootte $m/(2\pi\, r^3)$. Hoewel het maximum van het verre veld $\frac{1}{2}(kr)^2$ maal deze waarde is, kunnen we uit (21) concluderen dat globaal gezien (gemiddeld over alle richtingen) het verre en nabije veld een factor $(kr)^2$ in amplitude verschillen, en dat de overgang van nabije veld naar verre veld plaatsvindt bij $kr = 1$, d.w.z. afhankelijk van de frequentie bij een andere afstand tot de antenne. De veldtermen met r^{-2} laten we daarbij buiten beschouwing. In een Bode-diagram van de amplitude van het magnetisch veld als functie van kr zien we dus een afname van 60 dB/decade voor $kr < 1$ en 20 dB/decade voor $kr > 1$, terwijl het kantelpunt ligt bij $kr = 1$. De berekening van het ontvangen signaalvermogen P_r in de vorige Sectie ging uit van een label in het (primaire) verre veld van de zender en een ontvanger in het (secundaire) verre veld van de label. Om P_r te bepalen als de label zich op een afstand $kr < 1$ van de interrogator bevindt, moeten we de vermogens van zowel primair als secundair veld delen door $(kr)^4$ en daarmee P_r door $(kr)^8$.

$$P_r = g^2 \frac{16 + (kr)^8}{(kr)^8} \frac{d_t d_r}{4k^4 r^4} P_t \tag{22}$$

Hierin is het genoemde detail verwerkt dat de maximale amplituden van ver en nabij veld in feite een factor $\frac{1}{2}(kr)^2$ verschillen. Dit is gedaan, omdat we in beide gevallen het maximale ontvangen signaalvermogen willen weten, en we dus de oriëntatie van de label zo kiezen dat het maximum optreedt. Merk op dat, als de interrogator een ring-antenne bevat, deze zich dan op één as met de dipool van de label moet bevinden voor het nabije geval, terwijl de label net in één vlak met de zend/ontvang-kring moet liggen voor het verre geval. Verder is in de teller van (22) een term $(kr)^8$ toegevoegd om ervoor te zorgen dat we voor $kr > 1$ weer de oorspronkelijke uitdrukking (17) vinden. Daarmee verenigt (22) de beide asymptotische gevallen in één vergelijking.

N.B. De uitdrukking voor het nabije geval hadden we ook kunnen vinden via een magneto-statische berekening. Beschouw daartoe twee dipolen met stralen a_1 (de label) en a_2 (de interrogator) op een afstand r van elkaar op een gemeenschappelijke as. Voor de wederzijdse inductie M tussen de dipolen kan eenvoudig worden afgeleid:

$$\omega M = \frac{\pi k Z_0 a_1^2 a_2^2}{2r^3} \tag{23}$$

De overdracht $F = I_r / I_t$ volgt uit deze wederzijdse inductie via

$$F = \frac{I_r}{I_t} = \frac{\omega^2 M^2 \eta}{4R_{r1}^2 R_{r2}^2} \tag{24}$$

waarin R_{r1} en R_{r2} de stralingsweerstanden van de beide dipolen zijn en η de efficiency van de label is. Hierin is gerekend met de tweepoort-vergelijkingen voor gekoppelde spoelen, waarbij aan de secundaire poort (de label-spoel) de responsie wordt bepaald en deze vervolgens weer als excitatie wordt opgevat, zodat de koppeling in het kwadraat voorkomt. Tenslotte vinden we het ontvangen vermogen $P_r = F^2 P_t$ door (23) en (6) in te vullen in (24). Het resultaat is gelijk aan (22) voor het nabije geval ($kr<1$).

Op dezelfde manier als waarop we het ontvangen signaalvermogen P_r hebben gecorrigeerd voor het geval dat de label zich op een afstand $kr<1$ van de interrogator bevindt, kunnen we ook wat betreft het ontvangen ruisvermogen onderscheid maken tussen de nabije of de verre veld benadering voor de stoorbronnen. Daartoe nemen we aan dat de stoorbronnen zich gemiddeld op een afstand r_n van de interrogator bevinden en samen een ruisbron vormen met een continu vermogensspectrum dat wit is over de bandbreedte van de ontvanger. Dit laatste klopt bij benadering als er vele ongecorreleerde stoorbronnen samenwerken met een min of meer transiënt karakter.

Stationaire storingen bij discrete frequenties (stoorzenders) kunnen uiteraard niet op deze manier worden beschreven en moeten daarom apart behandeld worden in de bepaling van de stoorongevoeligheid van het totale systeem. De afstand r_n voor een indoor systeem kunnen we b.v. op 2 m stellen. Voor frequenties kleiner dan 24 MHz moeten we dan rekenen met de nabije veld benadering voor de ruis, d.w.z. het beschikbare ruisvermogen $N_0 \cdot B_n$ dient te worden gedeeld door een factor $(kr_n)^4$ om het ontvangen ruisvermogen N_r te vinden.

$$N_r = \frac{1+(kr_n)^4}{(kr_n)^4}\mathcal{N}_0 B_n \qquad (25)$$

Hierin is in de teller een term $(kr_n)^4$ toegevoegd, zodat voor $kr_n > 1$ de verre veld benadering geldt. De correctie volgens (25) is globaal in de zin dat er niet alleen is gerekend met een gemiddelde afstand tot de stoorbronnen, maar dat er ook is gemiddeld over alle richtingen. Niettemin is het een goede benadering om aan te geven hoe N_r van de frequentie afhangt.

Tenslotte gaan we na hoe het gezonden vermogen P_t van de frequentie afhangt, gegeven dat er op een afstand r_t van de zender een maximale veldsterkte H_t of E_t is toegestaan. Op grond van wettelijke eisen wordt er op een afstand r_t =30 m van de interrogator een meting gedaan van de magnetische veldsterkte in het frequentiegebied tot 30 MHz en van de elektrische veldsterkte voor frequenties daarboven. Als globale maat voor het toegestane zendvermogen kiezen we (met effectieve waarden H_t en E_t op een afstand r_t)

$$P_m = d_t^{-1} Z_0 H_t^2 4\pi r_t^2 \text{ resp. } P_m = d_t^{-1} Z_0^{-1} E_t^2 4\pi r_t^2 \qquad (26)$$

Voor het geval $kr_t > 1$ is dit gelijk aan het (verre) uitgestraalde vermogen P_t als we de veldsterkte meten in het maximum van de richtfunctie Dt(υ ,φ) en P_t bepalen met I_t^2 maal de stralingsweerstand van de zendantenne. Voor het geval $kr_t < 1$ moeten we P_m vermenigvuldigen met $(kr_t)^4$ om Pt te vinden.

$$P_t = \frac{(kr_t)^4}{1+(kr_t)^4} P_m \qquad (27)$$

Combinatie van (25), (27), (22}) en (8) levert uiteindelijk een *snr*

$$\frac{E_s}{\mathcal{N}_0} = \frac{Q^2(ka)^6 d^2}{[Q(ka)^3+4d]^2}\,\frac{16+(kr)^8}{(kr)^8}\,\frac{(kr_n)^4}{1+(kr_n)^4}\,\frac{(kr_t)^4}{1+(kr_t)^4} \qquad (28)$$

$$\frac{d_t d_r}{4k^4 r^4}\,\frac{P_m}{\mathcal{N}_0 B_n}$$

waarin alle berekende frequentie-afhankelijkheden expliciet zijn aangegeven. Wanneer we verder nog gebruiken dat N_0 evenredig is met k^{-1} volgens (18), dan kunnen we een grafiek tekenen van de signaal/ruis-verhouding als functie van de frequentie over een aantal decades, met als parameter de afstand r tussen label en interrogator. Eerst tonen we nog de evenredigheid van Q met $\sqrt{k}$ aan voor een ringantenne die resonant is afgesloten. Daartoe bepalen we de koperverliezen in de draad, rekening houdend met het skineffect. De verliesweerstand R_l wordt bepaald door de omtrek $2\pi a$, de soortelijke geleiding σ van de draad (57 . $10^6/\Omega$ m voor koper) en het stroomvoerende oppervlak $2\pi b.\delta$. Hierin is $2b$ de draaddiameter en δ de skindiepte. Deze hangt af van de frequentie volgens [8]

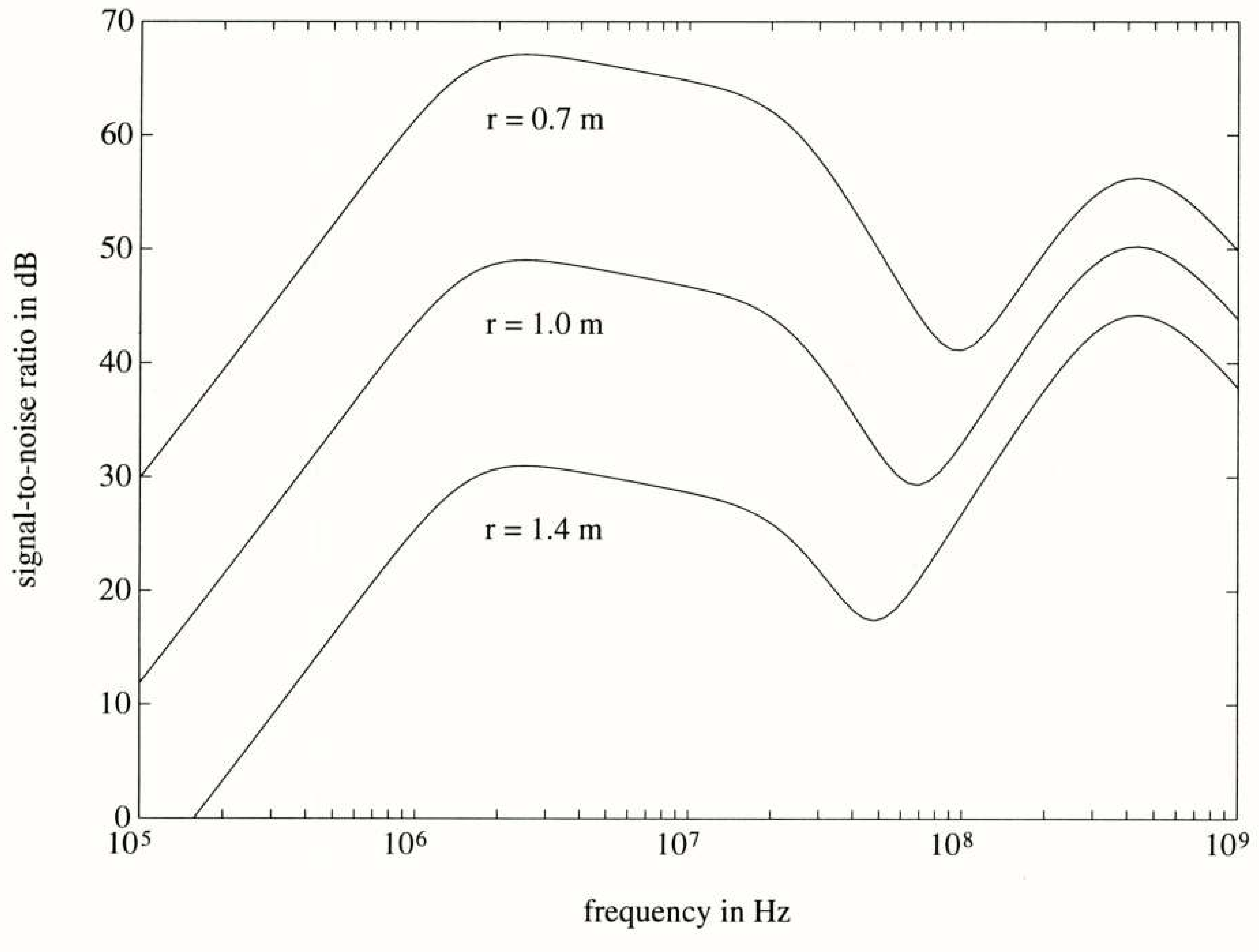
$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\sigma\omega\mu_0}} = \sqrt{\frac{2}{\sigma k Z_0}} \qquad (29)$$

zodat de verliesweerstand wordt gevonden met

$$R_l = \frac{2\pi a}{\sigma 2\pi b\delta} = \frac{a}{b}\sqrt{\frac{kZ_0}{2\sigma}} \qquad (30)$$

De kwaliteitsfactor Q, die volgt uit het quotiënt van ωL volgens (7) en R_l , wordt daarmee eveneens evenredig met de wortel uit de frequentie. Merk op dat Q en L de geometriefactor ln $(8a/b)$-c bevatten, maar dat de gain g deze factor niet bevat. Het kubische verband tussen de gain en de label-afmeting is derhalve exact. Uiteraard wordt de kwaliteitsfactor mede bepaald door de kwaliteit van de afsluitcapaciteit, zodat we eigenlijk moeten noteren
$Q = (1/Q_l + 1/Q_c)^{-1}$, waarin Q_l de bijdrage van de spoel en Q_c de bijdrage van de condensator is tot de totale kwaliteitsfactor. Doordat Q_c in de praktijk met de frequentie toeneemt (minstens even sterk als Q_l), kunnen we grofweg stellen dat ook de totale Q evenredig is met $\sqrt{k}$.

Fig. 1 geeft de signaal/ruis-verhouding (28) weer als functie van de frequentie in het gebied van 100 kHz tot 1 GHz. Daarbij is a =0.03 m gekozen en is er uitgegaan van de waarden r_t =30 m,
r_n =2 m, $Q = 120\sqrt{k}$ m$^{1/2}$ + 35, B_n = 10 Hz, $N_0 = 10^{-15}/k$ W/Hz/m,
$d = d_t = d_r$ =1.5 en P_m = 2μW. Dit vermogen komt overeen met E_t =316μ V/m (50 dBμV/m) of H_t =0.839 μA/m, wat typische toegestane stoorniveau's zijn. Het benodigde elektrische vermogen P_{in} is meestal orden groter, omdat een magnetische dipool in het algemeen een zeer lage efficiency heeft. In de grafiek herkennen we achtereenvolgens de kantelpunten kr_t=1, kr_n=1, $kr=\sqrt{2}$ en $ka=(4d/Q)^{1/3}$. Het verloop voorbij het laatste kantelpunt is onbetrouwbaar, omdat in het desbetreffende frequentiegebied de stralingsweerstand niet meer volgens (6) mag worden berekend, en bovendien de richtfactor d niet meer constant mag worden genomen. Zoals reeds eerder is opgemerkt, zullen radio-identificatie systemen in dit gebied echter zelden gebruik maken van ring-antennes. Merk op dat de helling tussen de kantelpunten kr_t=1 en kr_n=1 gelijk zou zijn aan nul, als we Q exact evenredig met $\sqrt{k}$ hadden genomen, d.w.z. zonder offset 35. Tenslotte merken we op dat in de praktijk de toegestane veldsterkten H_t en E_t niet geheel frequentie-onafhankelijk zijn. Behalve dat de eisen voor verschillende frequentiegebieden wat uiteen kunnen lopen, zijn er ook banden waarin vrijwel onbeperkt vermogen is toegestaan, zoals b.v. de genoemde band rond 125 kHz en een venster bij 27 MHz. Ook de zgn. ISM-band (industrial, scientific, medical) rond 2.5~GHz biedt mogelijkheden t.a.v. de microgolf toepassingen [4]. Het valt verder op dat bij de werkfrequentie 125kHz van veel aangedreven labels meer dan 30dB meer zendvermogen nodig is dan voor frequenties in het vlakke deel in de grafiek.



Figuur 1: Signaal/ruis-verhouding als functie van de frequentie

V. Conclusie

Uit Fig. 1 kunnen we concluderen dat een radio-identificatiesysteem, waarbij de label zich in het nabije veld van de interrogator bevindt, in het frequentiegebied tussen de kantelpunten bij 1.6 en 24 MHz moet werken, of meer algemeen, tussen de kantelpunten bepaald door kr_t=1 en kr_u=1. De afstandsafhankelijkheid met r^{-12} zorgt er daarbij voor dat het aftastgebied zeer compact is, d.w.z. er is een scherpe overgang van betrouwbare identificatie van een label naar totale onzichtbaarheid van de label bij toenemende afstand. Willen we grote afstanden kunnen overbruggen, dan moeten we kiezen voor een systeem waarbij de label zich in het verre veld bevindt, zodat de snr slechts met de vierde macht van de afstand afneemt. De optimale werkfrequentie ligt dan bij het kantelpunt kl≈1, waarin l de diameter van de label is.

VI. Referenties

[1] F.W.H. Kampers, "Standardisation of RFID Systems for Agricultural Applications," Tijdschr. NERG, deel 58, nr.1, pp.1-3, 1993.

[2] H.T. Massink, "TIRIS — Texas Instruments Registration and Identification System, Applications of Radio Frequency Identification," NERG, deel 58, nr.1, pp.5-8, 1993.

[3] J.H.L. Hogen Esch, "Techniek en Toepassingen van Radio Identificatie," NERG, deel 58, nr.1, pp.9-12, 1993.

[4] E.F.J. Smit, "Radiolabels bij PTT Post," NERG, deel 58, nr.1, pp.13-16, 1993.

[5] D.D. Mawhinney, "Microwave Tag Identification Systems," RCA Review, vol.44, no.4, pp.589-610, Dec. 1983.

[6] H.J. Butterweck, A.C.P. van Meer and J.H.F. Ritzerfeld, "A Remote Identification System Based on Passive Identifiers," Signal Processing, vol.26, no.3, pp.369-379, March 1992.

[7] J.H.F. Ritzerfeld, "A Passive Remote Identification System," Proc. IEEE Benelux & ProRISC Workshop on Circuits, Systems and Signal Processing, Houthalen (B), pp.111-116, April 1992.

[8] C.A. Balanis, Antenna Theory: Analysis and Design, Chichester: Wiley, 1982.

[9] J.M. Wozencraft and I.M. Jacobs, Priciples of Communication Engineering, London: Wiley, 1965.

NEDERLANDS ELEKTRONICA-EN RADIOGENOOTSCHAP

425 werkvergadering

UITNODIGING

voor de werkvergadering van het NERG op dinsdag 28 juni 1994 in Collegezaal E, Gebouw Elektrotechniek, Technische Universiteit Delft, Mekelweg 4, Delft.

THEMA: CONTRAST: ELEKTROTECHNIEK EN TELECOMMUNICATIE IN HET VERRE OOSTEN

Deze avondlezing wordt geheel verzorgd door studenten en afgestudeerden van de Faculteit Elektrotechniek van de TU Delft. Eind 1993 heeft de ElektroTechnische Vereniging van de TU Delft een studiereis gemaakt naar Taiwan en Japan. Vanwege de grote verschillen tussen het Verre Oosten en Europa kregen het project en het eindverslag de naam CONTRAST. Een aantal deelnemers aan de reis zal deze avond van zijn bevindingen verslag doen. Deze bloemlezing geeft uiteraard niet meer en niet minder dan een overzicht van de stand van zaken. Daarom is aan het einde van het programma tijdens een paneldiscussie ruimte voor een uitgebreide uitwisseling van gedachten en ideeën. Ook is het complete reisverslag verkrijgbaar à *f* 25,-

PROGRAMMA:

17.30 - 18.30 uur	Ontvangst met soep en broodjes in het E-kafee
18.30 - 18.50 uur	Studiereis CONTRAST **B. Assmann**, dagvoorzitter, Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidingssystemen.
18.50 - 19.10 uur	Infrastructuur in Japan **M. Adriaanse**, Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidingssystemen.
19.10 - 19.30 uur	High Voltage DC **M. Aten**, Afstudeerrichting Sterkstroom.
19.30 - 19.50 uur	Fibers are marching home **J. Stolk**, Vakgroep Regeltechniek.
19.50 - 20.10 uur	Pauze
20.10 - 20.30 uur	Fuzzy Logic **O. Nouwen**, Vakgroep Regeltechniek
20.30 - 20.50 uur	Mobiele telefonie in Tokyo **R. de Jong**, Vakgroep Telecommunicatie en Verkeersbegeleidingssystemen.
20.50 - 21.20 uur	Paneldiscussie
21.20	Afsluiting met aansluitend borrel in het E-kafee

Aanmelding voor deze dag dient te geschieden vóór 21 juni aanstaande door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 70 cent. Het aantal deelnemers is beperkt tot 200. Wanneer u niet kunt deelnemen krijgt u persoonlijk bericht.

Leden van NERG en studenten hebben gratis toegang. De kosten van deelname voor niet-leden bedragen *f* 15,00. Betalingen dienen vóór 21 juni te zijn ontvangen op girorekening 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.

Namens het NERG
Ir. P.R.J.M. Smits, programmacommissaris

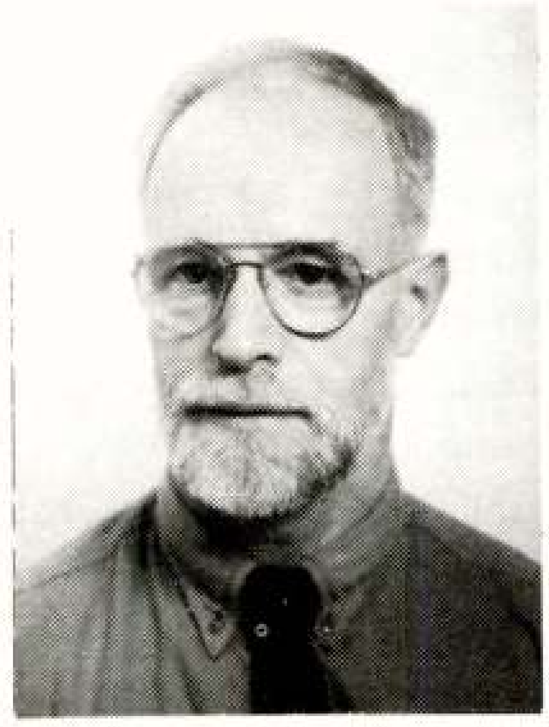
ACCELERATORS IN THE TUE CYCLOTRON BUILDING

Dr. J.I.M. Botman and dr. ir. C.J. Timmermans
Technische Universiteit Eindhoven,
P.O. Box 513, 5600 MB EINDHOVEN, The Netherlands



dr. J.I.M. Botman

Summary
Particle accelerators in the Cyclotron Laboratory of the Eindhoven University will be reviewed, and the research performed with them will be briefly mentioned. Some general principles of acceleration are given. More details are given about a racetrack microtron and about an electron storage ring currently under construction.



dr. C.J. Timmermans

Introduction

The central unit of the cyclotron building of the Technische Universiteit Eindhoven is a 30 MeV cyclotron which was presented to the university by the N.V. Philips in 1969, and which started operation in 1963. Despite the fact that this machine is already more than 30 years old, it still is the heart of the research and technology activities. Whereas at the beginning for about 50% of the beam time pure nuclear physics was carried out, making use of proton, deuteron or alpha beams from the cyclotron, nowadays the emphasis is completely on applied science, e.g. for material characterization. There has been, and still is, a symbiosis of accelerator research and technology, and applications of accelerators. In this paper we briefly describe the different accelerators present in the cyclotron laboratory, either existing or under construction, and their applications. In particular we describe some new developments, namely a racetrack microtron, and an electron storage ring which will function as a synchrotron radiation source. Like the Philips cyclotron, this machine will again be a facility for applied research in many disciplines for several years to come.

Figure 1 shows the lay-out of the present experimental hall, with the main cyclotron in vault 1 and the beam guiding system to various experimental stations. Vault 3, 4 and 10 have targets for the production of short lived radiopharmaca. This is the activity of the Cygne company, originated in 1981 from the cyclotron research group. This company provides for the routinely and commercial production of radionuclides, such as ^{123}I, especially for medical diagnosis of patients in hospitals. The company is active in the radiopharmaca market in a large part of Europe. Apart from the commercial isotope production, Cygne does research on production methods of radionuclides with ultra high purity.In vault 9 the small 3 MeV cyclotron ILEC is situated, see the contribution by dr. J.A. van der Heide in this journal [1]. This machine has been designed by

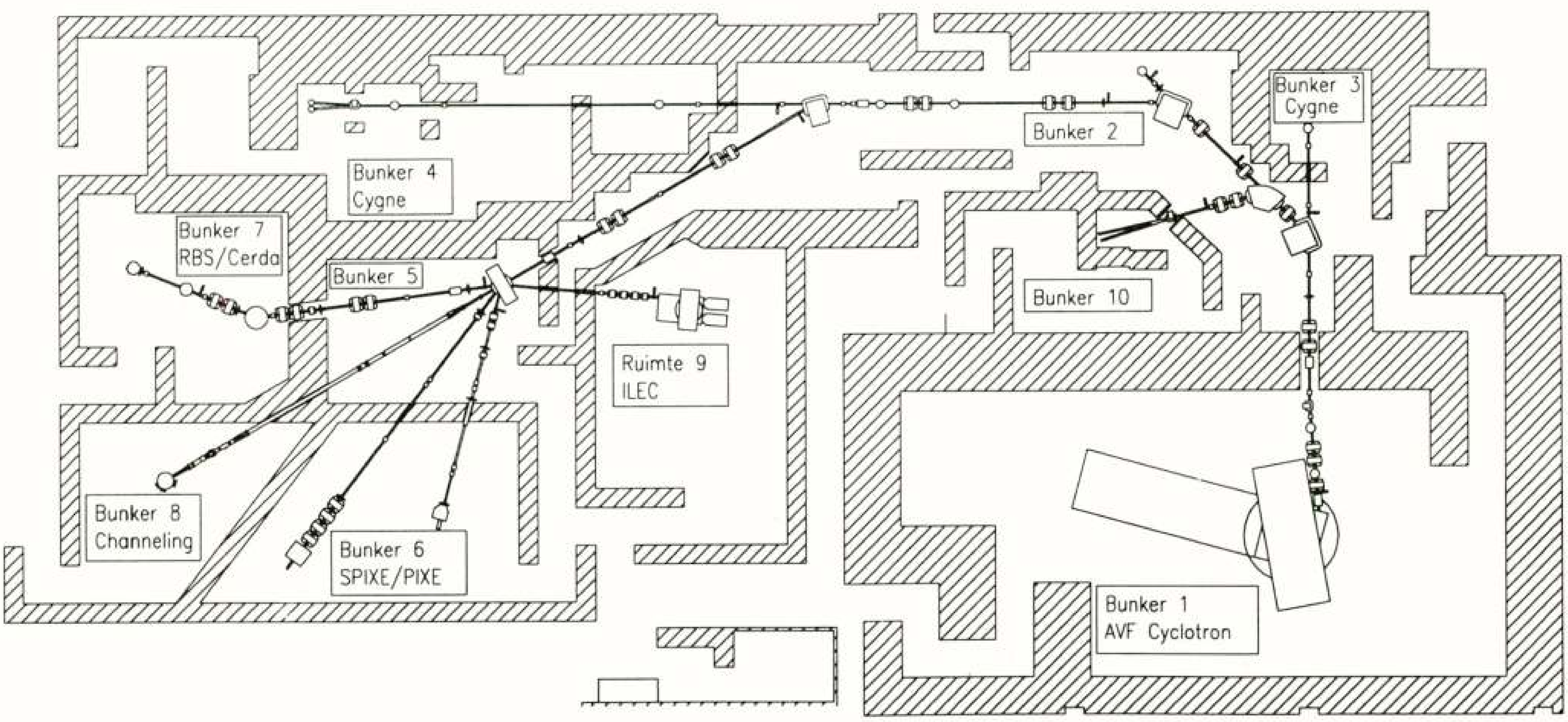


Figure. 1 Lay-out of the TU cyclotron facilities

students of the physics faculty, and was constructed at the university central construction facilities (CTD). The energy of 3 MeV was chosen with specific applications (PIXE, see below) in mind.The switch magnet in vault 5 may receive beam either from the Philips main cyclotron or from ILEC, and may direct it to a number of experimental stations in vault 6, 7 and 8. These contain analysis equipment for trace elements in materials, detection equipment for material composition and for crystal lattice studies. As an example for trace element analysis the PIXE-technique (Proton Induced X-ray Emission) is employed, where the energy of the X-rays is determined which emerge from the bombardment of target material by high energy (3 MeV) protons. The X-ray energy is unique for the element to be detected. The same technique can be applied with proton beams that have been reduced in size to a few micrometers ("microbeam") allowing spatial element detection with high resolution.As may have become apparent from the introduction above, an accelerator laboratory is a fruitfull environment for the education of students in technical physics. They deal with larger physics installations, and get experience with detection equipment for charged particles and for secondary particles such as photons and neutrons. They use magnetic fields for beam bending and focusing, RF fields for particle acceleration, work with large vacuum systems and computer control systems.The description above is mainly restricted to cyclotrons and their applications, i.e. to proton and light ion beams. Before discussing electron machines as rather different accelerators and with different use, we discuss some elementary differences between a cyclotron as used for the acceleration of ions and a microtron as electron accelerator.

Microtron versus cyclotron

The angular revolution frequency ω of a charged particle with mass *m* and charge *q* in a magnetic field with induction *B* is given by:

$$\omega = \frac{qB}{m} . \qquad (1)$$

Here m is the relativistic mass of the particle:

$$m = m_o \gamma, \qquad (2)$$

with m_0 the rest mass, and the relativistic factor:

$$\gamma = 1 + T/E_o, \qquad (3)$$

where *T* is the kinetic energy of the particle, and E_0 its rest energy.It is seen that as long as $m \simeq m_0$ the revolution frequency is constant in a constant magnetic field B and is independent of the particle energy. This is the basis for the classical cyclotron, for RF power with the same frequency as the particle revolution frequency may be fed into the cyclotron, leading to acceleration of the particles in synchronism with the applied RF field. As the energy increases the radius of the orbit of the particles increases, leading to a spiralled orbit.

Now let us first consider protons as an example. For the Philips cyclotron the maximum energy is T= 30 MeV. With the rest energy E_0 = 938 MeV $\simeq$ 1000 MeV, the maximum γ factor is $\gamma \simeq 1.03$. Going back to eq. (1) it is seen that when the magnetic field is made to increase by only 3% towards the final radius, we can still keep ω constant, allowing synchronous acceleration. In principle this radial profiling of the magnetic field is not difficult, and can be extended for much higher energies. For ions heavier than protons the γ-factor increase is even smaller, hence the radial field increase for keeping ω constant is smaller. Conclusion: for protons and other ions isochronous cyclotrons with spiralled orbits are appropriate accelerators, up to those energies where the γ-factor does not deviate too much from unity. (Today, the highest energy isochronous cyclotrons have a final γ of about 1.6.)

For electrons the situation is quite different. The rest energy E_0 is 0.511 MeV. Electrons with a kinetic energy of only a few MeV have a γ-factor much larger than 1; a radial magnetic field increase of this size is extremely difficult or impossible to realize. This rules out cyclotrons as multi MeV accelerators for electrons. As can be seen in the contribution of De Leeuw and Coppens in this journal [2], an energy gain of several hundred to thousand keV can easily be achieved upon traversal of a charged particle through a resonant cavity. In fact, when this energy gain per traversal is precisely equal to the electron rest energy, and when the electron is made to traverse the cavity repeatedly, starting from kinetic energy zero, it is seen that γ takes the values γ = 1, 2, 3, ... Then the revolution time in a constant magnetic field, given by the inverse of the revolution frequency (1), increases as 2T, 3T, 4T, 5T, ..., with

$$T = f_o^{-1} = 2\frac{\pi}{\omega_o} = 2\pi \frac{m_o}{eB},$$

where *e* is the electron charge and where f_0 and ω_0 are defined by this relation. So if the cavity is operated at frequency f_0, electrons will be resonantly accelerated. The foregoing discussion implies circular orbits of increasing radius all with a common touching point, namely in the cavity: the so called classical microtron. On the other hand, in a racetrack microtron (RTM), where the magnetic field has been split in two equal parts, separated by a field free region, the energy gain per traversal may be much higher, and the initial electron energy may have any value. It is not difficult to obtain the conditions for resonant acceleration in this case.

Inserting numbers for the electron or proton charge and rest mass in eq. (1) shows the characteristic frequencies of RF systems in either case: MHz for protons or other ions, GHz for electrons (i.e. microwaves, hence the name microtron).

The EUTERPE project

As an extension to the applied nuclear techniques and the accelerator technology research, a new project named EUTERPE was started, a ring with a circumference of 40 m and storing electrons at a maximum energy of 400 MeV. The storage is done with magnetic elements, i.e. bending magnets and quadrupoles. Electrons emit so-called synchrotron radiation (SR) while traversing bending magnets. The SR-spectrum for Euterpe is shown in figure. 2.

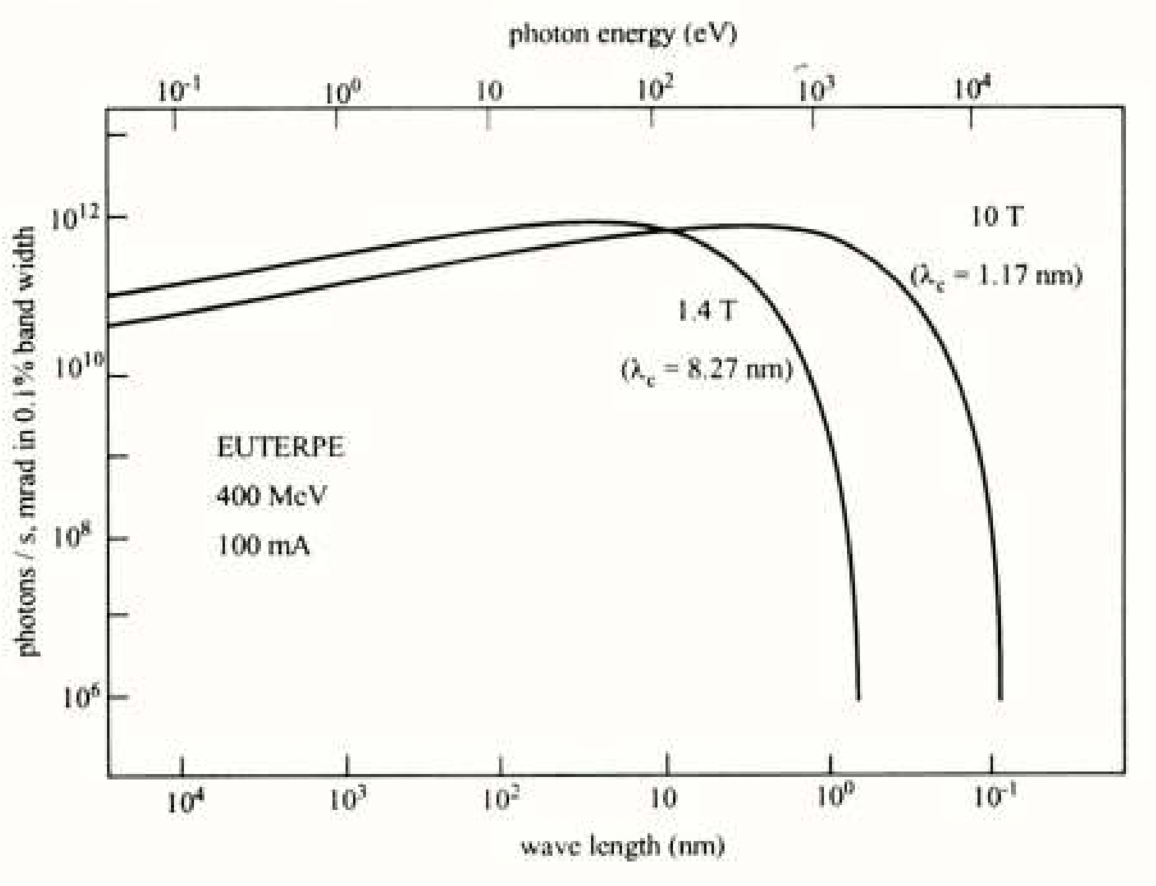


Figure. 2 SR spectrum for Euterpe

It is a continuous spectrum over a large range of wavelengths; the intensity depends on the number of electrons stored. SR-rings are very attractive for research in many areas employing photon beams, e.g. in biology, chemistry, solid state physics, etc. The availability of electron beams also allows future experiments with free electron lasers, photon electron scattering, material composition modifications by electron bombardment, and others. Figure 3 gives a lay-out of the ring, table 1 gives main parameters.

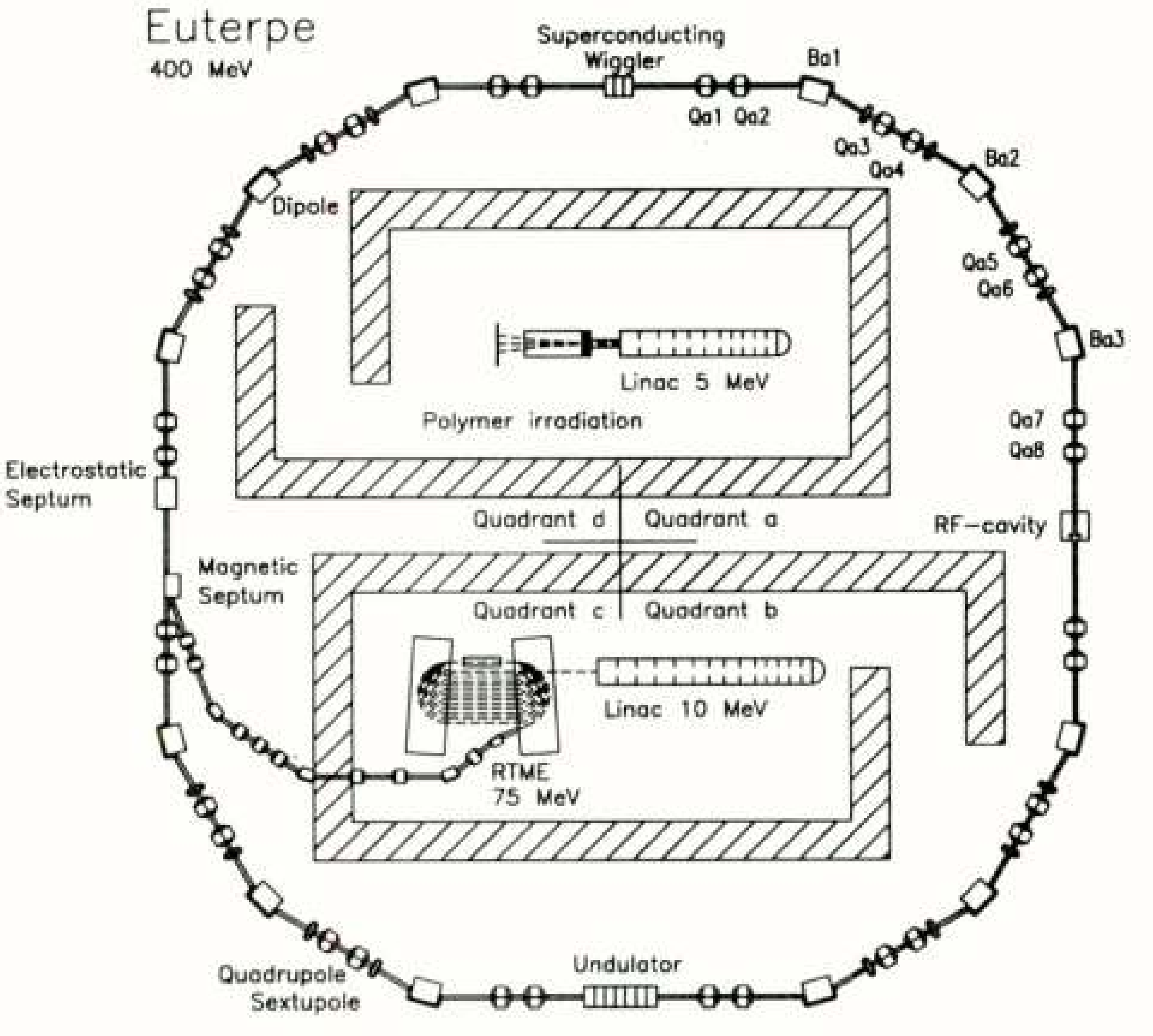


Figure. 3 Lay-out of Euterpe

Circumference [m]	40
Electron energy [MeV]	400
Injection energy [MeV]	75
Beam current [mA]	200
Beam lifetime [h]	2
No. of superperiods	4
No. of dipole magnets	12
No. of quadrupole magnets	32
RF frequency [MHz]	45
RF voltage [kV]	50
Harmonic number	6
Pulse length [cm]	3.0
Revolution period of electrons [ns]	133
Energy spread *dE/E*	$3.5 \cdot 10^{-4}$
Energy loss / turn [keV]	2.3

Table 1 Main parameters Euterpe

The ring is situated to the left of the experimental stations in figure. 1. It is injected from a 75 MeV racetrack microtron (RTM), which in turn receives the beam from a 10 MeV linear accelerator. As the electrons move very near the velocity of light c (this may be inspected from $\beta = v/c = (1-\gamma^{-2})^{1/2}$), even for a few MeV, it takes 133 ns for one revolution in the ring, or 7.5 MHz revolution frequency. The RF cavity operates at 45 MHz, which means that 6 electron bunches simultaneously circulate in the ring. The RF cavity compensates the energy loss of electrons due to SR (2.3 keV per revolution at 400 MeV) and is used for acceleration of the stored beam from 75 MeV to 400 MeV (but here a very low accelerating voltage is sufficient because of the high revolution frequency, and the acceleration time of say 30 sec.). Euterpe has twelve 30° bending magnets and 32 quadrupole magnets for beam focussing. The electron optical structure of these elements has been chosen, among other features, to provide long straight sections for injection equipment, and for future experiments. Four families of power supplies for the quadrupoles are required, typically each power supply having 200 A and 60 V, whereas the dipoles all must have the same excitation (see the contribution of A. Kemper in this journal (3)). The magnetic induction in dipoles varies from 0.26 T at 75 MeV to 1.4 T at 400 MeV.

Finally we briefly discuss the injector microtron. A median plane view is given in figure. 4.

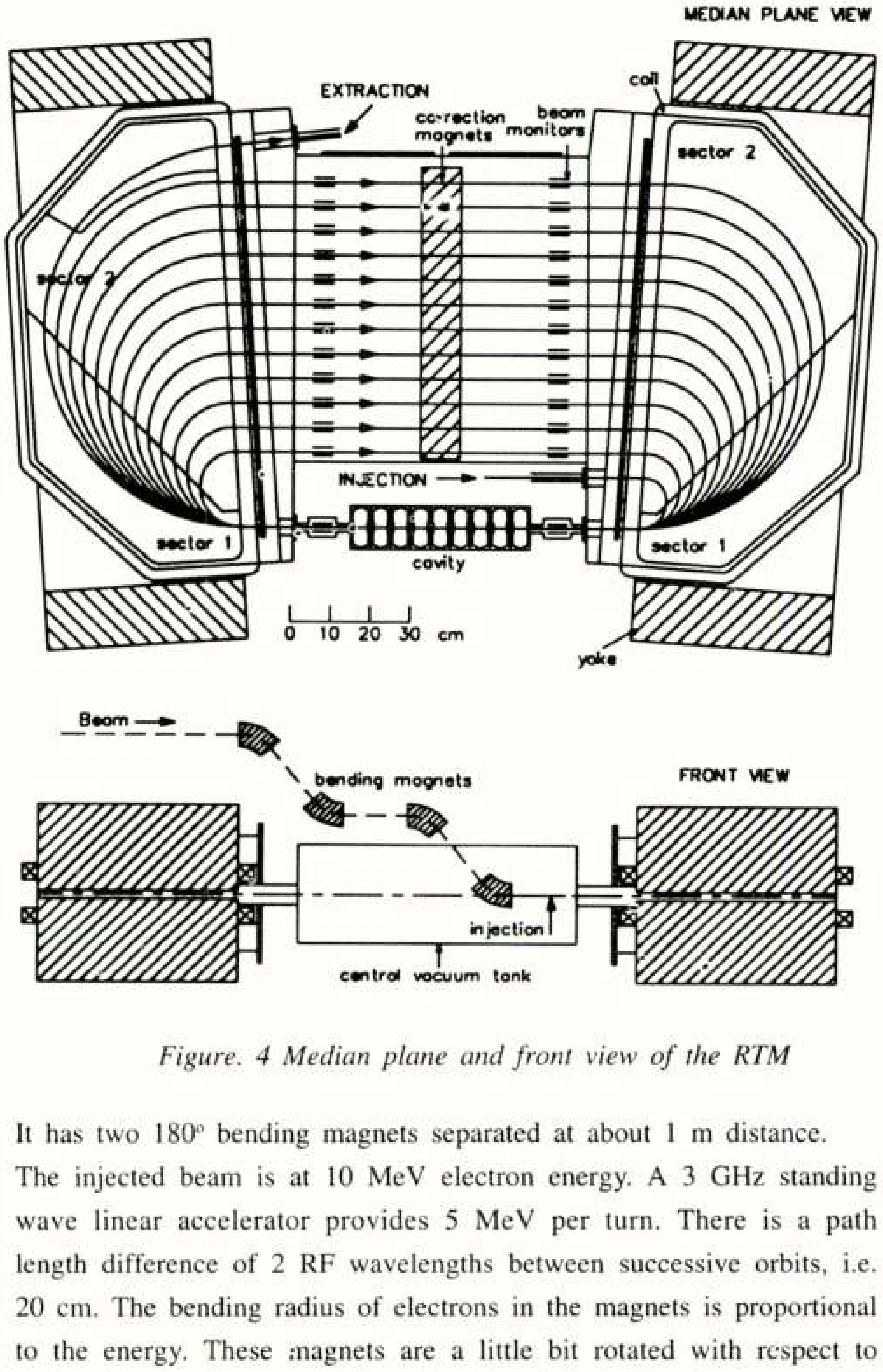


Figure. 4 Median plane and front view of the RTM

It has two 180° bending magnets separated at about 1 m distance. The injected beam is at 10 MeV electron energy. A 3 GHz standing wave linear accelerator provides 5 MeV per turn. There is a path length difference of 2 RF wavelengths between successive orbits, i.e. 20 cm. The bending radius of electrons in the magnets is proportional to the energy. These magnets are a little bit rotated with respect to each other in the median plane, because in fact they have two field levels: section 2 with 0.6 T about a factor of 1.2 higher than section 1. Electrons which traverse field boundaries not at right angles experience traverse focussing forces, similar as in the quadrupoles of the storage ring.

In cyclotrons ions can be accelerated for a large phase width of the applied RF field (see [1]). In linacs, microtrons and synchrotrons (or storage rings) the principle of phase stability is essential. We will illustrate this for our RTM. The resonance condition for acceleration in the RTM is strictly valid only for a reference or synchronous particle which enters the cavity at a fixed phase with respect to the top of the RF wave, in fact on the falling side of the RF wave. A

different particle arriving later at the cavity experiences a lower accelerating voltage. As a consequence its energy gets less than the reference particle, and it has a smaller bending radius in the two 180° bending magnets. Hence it has a shorter path than the reference particle to return to the cavity and has reduced its phase difference; it may even arrive earlier than the synchronous particle and get a larger acceleration. Conclusion: particles differing from the synchronous particle make phase and energy oscillations with respect to that reference particle. This briefly outlines the phase stability principle, crucial for acceleration of bunches of particles. The Eindhoven RTM is designed with a synchronous phase of 9° with respect to the top of the RF wave, and an energy gain of 5 MeV belonging to this phase. For the storage ring Euterpe on the other hand, the peak voltage will be 50 kV, for ensuring sufficiently long beam lifetime. With the 2.3 keV energy loss per turn due to SR, it is seen that the synchronous phase for the ring lies very near to the zero crossing of the RF wave.

Conclusion

An overview of accelerator activities at the TU Eindhoven has been presented, both regarding design and construction of the hardware, and regarding applications. Some accelerator aspects or principles have been considered in more detail. Much work in technical physics can be done, which is very useful for the education of students. Particle accelerators provide facilities for many types of applied and fundamental research.

References

[1] Dr. ir. J.A. van der Heide, "Hoogfrequent versnelling in cyclotrons", this journal.

[2] Ir. R.W. de Leeuw and ir. J.E. Coppens,"Linear standing wave accelerators in the gigahertz regime", this journal.

[3]. Kemper, "Een systeem van voedingen voor de dipoolmagneten in een opslagring voorelektronen", this journal.Figure captions

Voordracht gehouden gedurende de 426e werkvergadering

HOOGFREQUENT VERSNELLING IN CYCLOTRONS

dr. ir. J.A. van der Heide
Technische Universiteit Eindhoven, faculteit Natuurkunde



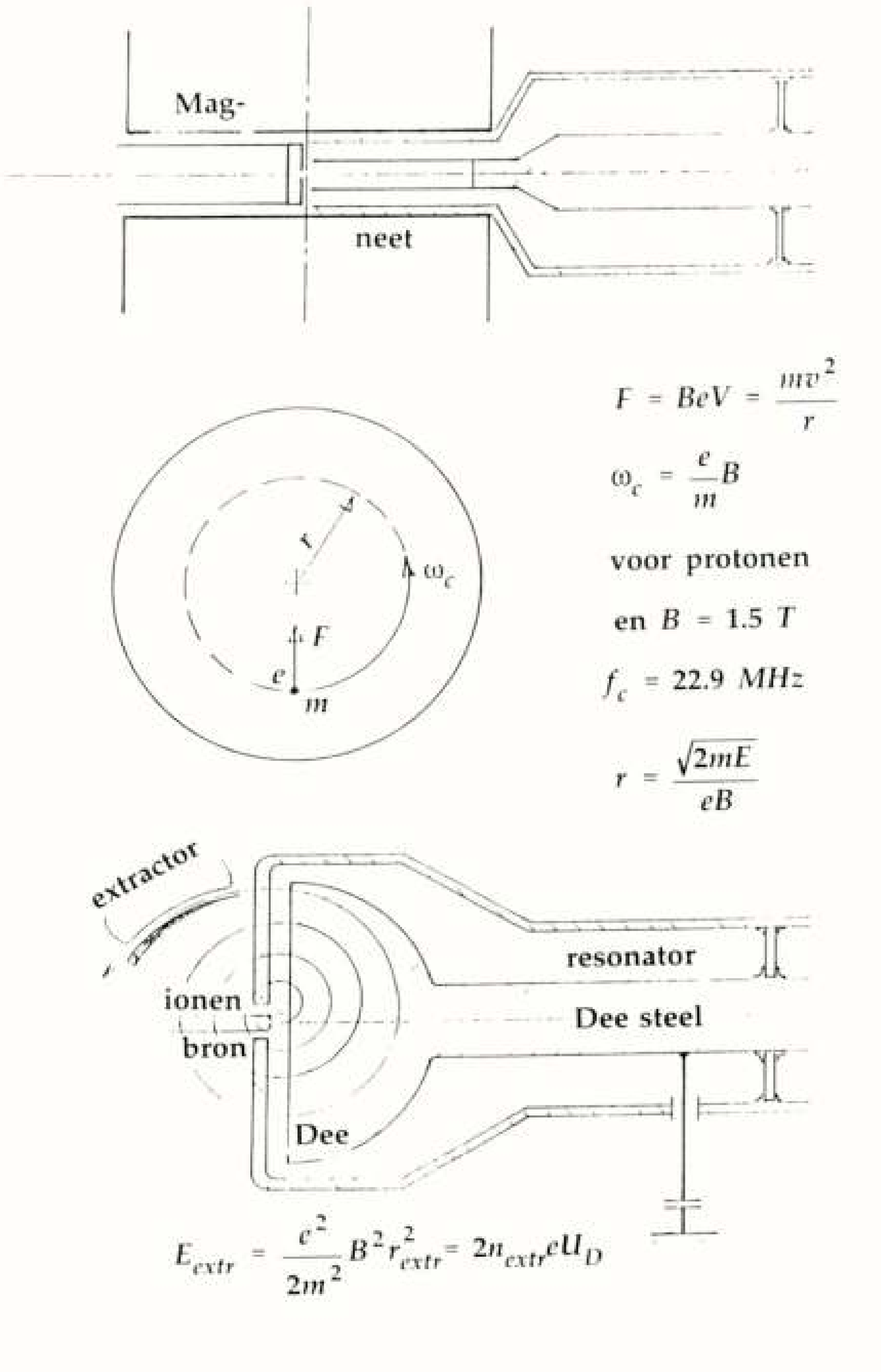
Summary
A brief description of the working principle of modern AVF cyclotrons is given. Some features regarding the process of particle extraction are mentioned and various accelerating structures are outlined shortly. The internal beam intensity against radius in the small home made cyclotron ILEC, as measured with a thin wire target, is shown.

Inleiding
Een cyclotron is een circulaire versneller waarin ionen tot hoge energie gebracht worden waarbij ze een spiraalvormige baan doorlopen. In een synchrotron, een ander type circulaire versneller, doorlopen geladen deeltjes, ionen of elektronen, een ring. De baankromming wordt in beide gevallen door een magnetisch veld tot stand gebracht. Dit betekent dat in een cyclotron over het gehele oppervlak van een cirkel een magnetisch veld aanwezig moet zijn en bij een synchrotron alleen langs een ring of zelfs alleen maar rond de hoekpunten van een veelhoek. Voor het veld is in de praktijk ijzer nodig en dit maakt dat de diameter van een cyclotron hooguit enkele meters is, terwijl die van een synchrotron ring vele kilometers kan bedragen zoals bij CERN in Genève.
Maximale energieën voor protonen bedragen een paar honderd MeV bij cyclotrons, terwijl bij grote synchrotronringen b.v. 30 GeV wordt bereikt.

Magnetisch veld
Een cyclotron wordt gebruikt voor het versnellen van ionen. Laten we de werking ervan nader beschouwen. In figuur 1 zijn de essentiële componenten weergegeven. Boven in de figuur zijn de polen van de magneet aangeduid waarvan het statische veld met zijn inductie B zorgt dat deeltjes met een lading e en massa m rondlopen met hoeksnelheid

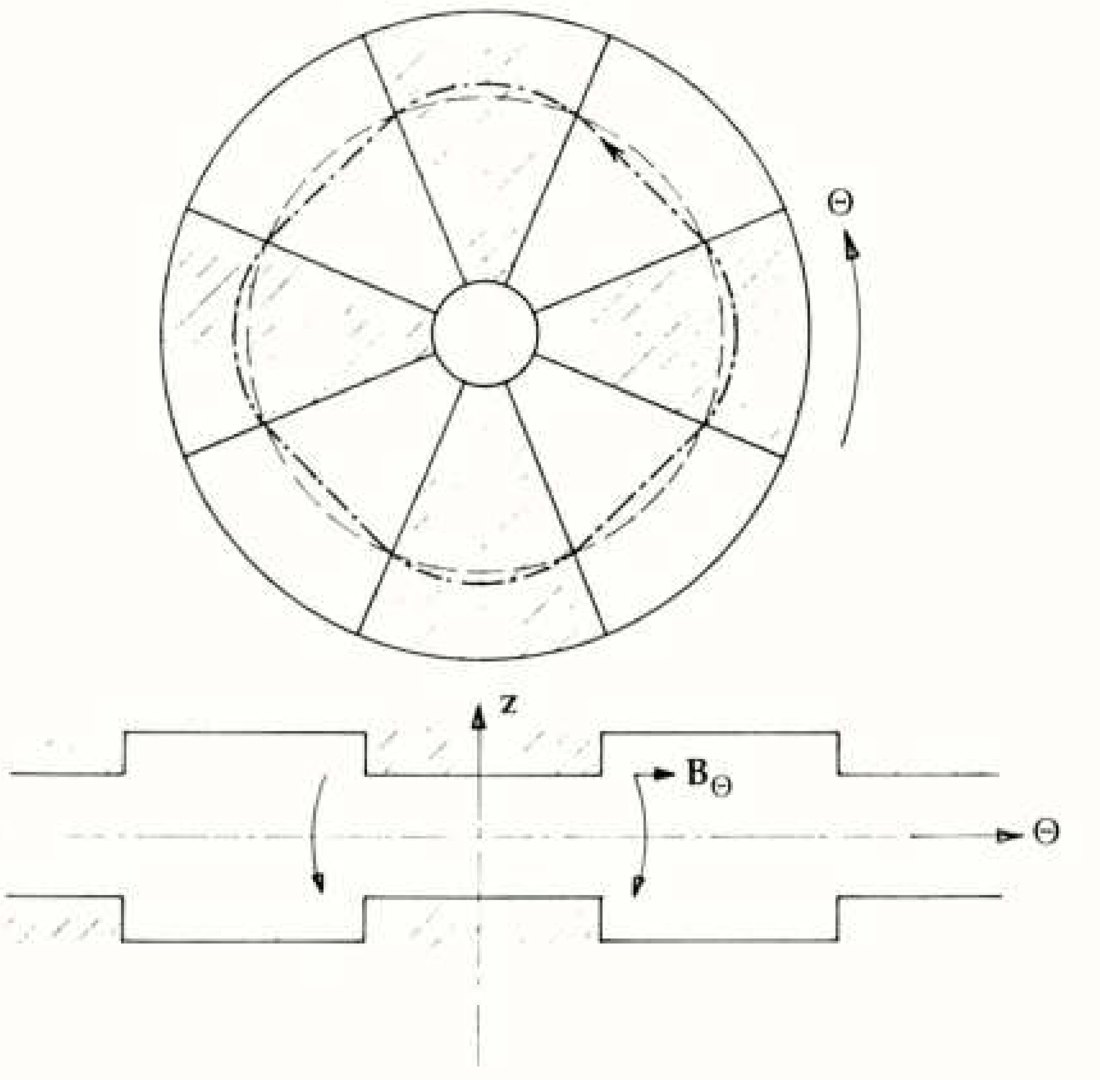
$$\omega_c = \frac{e}{m} B,$$

dus onafhankelijk van de kinetische energie der deeltjes.



Figuur 1.Principe en hoofdcomponenten van een cyclotron.

In plaats van een magneet met vlakke polen wordt bij moderne cyclotrons gewerkt met polen voorzien van een azimuthale en ook radiale profilering. Dit is geschetst in figuur 1a waar een zogenaamde heuvel-dal verdeling in sectoren is aangeduid. De randen van de sectoren zijn vaak ook nog gekromd. Deze profilering dient om verticale focussering te verbeteren en daarmee hogere bundelstromen te realiseren.
In het mediane vlak neigt de vorm van een deeltjesomloop naar een, in het getekende geval, 4-kants vorm. Er zijn cyclotrons waarvan het ijzer in de dalen helemaal is weggelaten en de magneet bestaat uit afzonderlijke sectoren. We spreken dan ook van sector cyclotrons als uiterste vorm van een AVF cyclotron, waar AVF staat voor Azimuthally Varying Field. De radiale (niet getekende) profilering dient om over het gehele oppervlak het langs een deeltjesomloop gemiddelde veld gelijk te houden aan $(m/e)\omega_c$ met constante ω_c en met inachtname van een relativistische massatoename van een deeltje. Bij moderne cyclotrons is de hoekfrequentie van de versnelspanning ω_{hf} gelijk aan of een veelvoud van ω_c. We spreken dan ook van isochrone AVF cyclotrons.

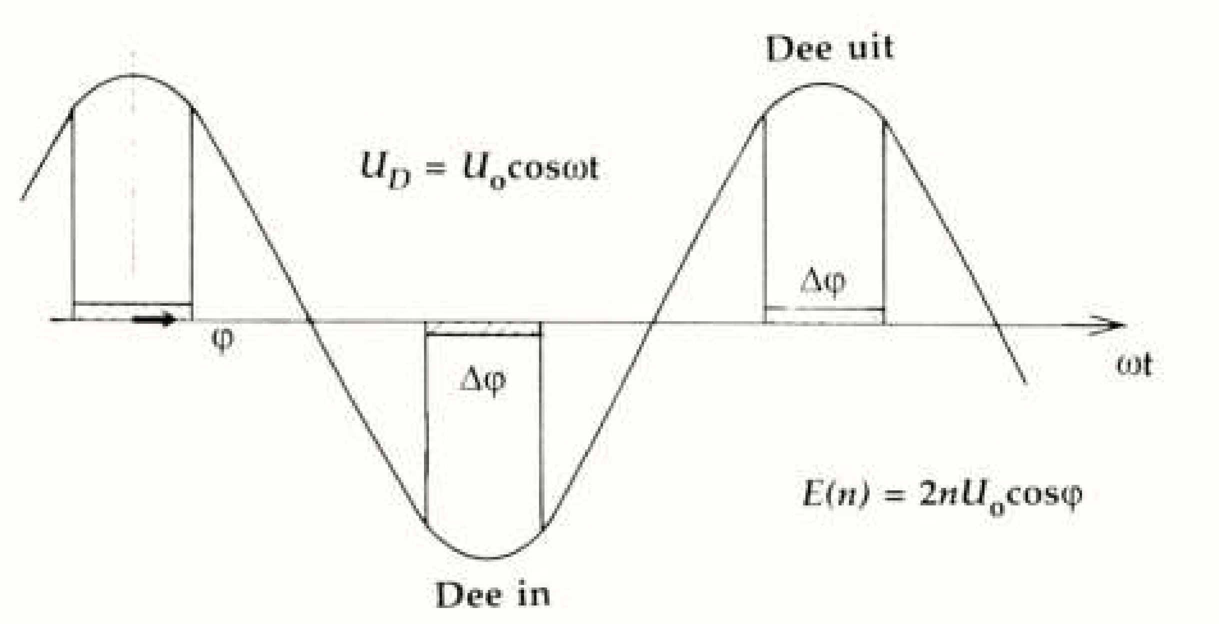


Figuur 1a. Heuvel-dal profilering van polen voor AVF-veld. Op een heuvel-dal overgang heeft een proton een radiale snelheid v_r naar binnen. Dit geeft met B_θ voor $z > 0$ een focusserende kracht $eB_\theta x v_r$ naar beneden gericht.

Elektrisch veld

In figuur 1 is ook aangeduid de h.f. versnelelektrode, de dee waarvan de naam historisch door de D-vorm bepaald is. Deze bestaat uit twee evenwijdige platen die verbonden zijn aan een h.f. spanningsbron. Versnelde deeltjes lopen tussen de platen in een elektrisch veldvrije ruimte. Over de spleet tussen de dee en de geaarde dummy dee-lijst staat het versnellende veld. Als de frequentie van de deespanning $\omega_{hf} = \omega_c$ dan worden deeltjes in een geschikt fasegebied twee keer per omloop versneld, zie figuur 2.

Als de deespanningsamplitude U_D is, is hun energie na n omlopen



Figuur 2.Isochrone versnelling van deeltjes. De fase φ van één deeltje blijft constant. De deeltjes zijn gespreid over een gebied Δφ.

$$E = 2neU_D\cos\varphi \qquad (1)$$

waarin φ de fase of het moment van versnelling t.o.v maximale spanning ($\varphi = 0$) voorstelt.

De radius r waarop de deeltjes dan draaien is

$$r = \frac{\sqrt{2mE}}{eB} \qquad (2)$$

Deeltjes bevinden zich in een fasegebied $\Delta\varphi$, ruimtelijk corresponderend met een "treintje" van azimuthaal gespreide deeltjes. Het proces van versnellen gaat door totdat de deeltjes de radius van de extractor bereiken. Dit kan na b.v. 300 omwentelingen het geval zijn. De extractor bestaat in principe uit twee platen op een afstand van enkele mm waarvan de binnenste, het septum, geaard is en de buitenste voor positieve deeltjes een negatieve gelijkspanning van bijv. 70 kvolt draagt. Hiermee worden de deeltjes uit het gebied van het magnetisch veld getrokken en buiten het cyclotron geleid.

Op de radius van extractie r_{ex} is de energie aangegroeid tot (zie (2))

$$E_{extr} = \frac{e^2}{2m} B^2 r_{extr}^2 \qquad (3)$$

onafhankelijk van U_D en φ.

De deespanning moet wel om meerdere praktische redenen hoog zijn. Zo moeten de deeltjes bij hun eerste rondgang al voldoende energie en radius hebben om niet door de ionenbron onderschept te worden. Bovendien neemt bij toepassing van een interne bron als geschetst in figuur 1 de intensiteit van de ionenbundel meer dan evenredig toe met de deespanning. Ook het extractieproces is efficiënter bij hoge deespanning. Dit heeft te maken met de baanscheiding Δr_n van deeltjes in de n^e en de $n + 1^e$ omloop.

Uit (1) en (2) volgt

$$\Delta r_n = \frac{r_n}{2n}.$$

Het zal duidelijk zijn dat een behoorlijke baanscheiding de extractie begunstigt. Dat wil zeggen dat het beter is om E_{extr} te realiseren met grote U_D en kleine n dan omgekeerd. De deeltjes in de $n + 1^e$ omloop kunnen wel radiale overlap vertonen met deeltjes in de n^e omloop. Dat is het geval voor deeltjes met fase φ en fase 0 als geldt:

$$2(n+1)eU_D\cos\varphi < 2neU_D \text{ dus als } \cos\varphi < \frac{n}{n+1}.$$

In dit geval zal de extractie-efficiëncy < 100% zijn omdat altijd een gedeelte van de bundel door het septum wordt onderschept. Het kan voordelen hebben om vóór extractie baan overlap te vermijden. Dit kan bereikt worden door in één van de eerste omlopen de bundel te diafragmeren waarmee in feite het $\Delta\varphi$ gebied wordt verkleind ten koste van intensiteit. Men spreekt in dat geval van single turn of constant turn extractie.

Tenslotte is een hoge deespanning gunstig in verband met mogelijke geringe afwijkingen ΔB in de feitelijke gemiddelde inductie B t.o.v.

$$B_{iso} = \frac{m}{e}\,\omega_{hf}.$$

Hierdoor treedt een faseverschuiving $\delta\varphi$ op die per omwenteling

$$\delta\varphi = \frac{\Delta B}{B_{iso}}\,360^o$$

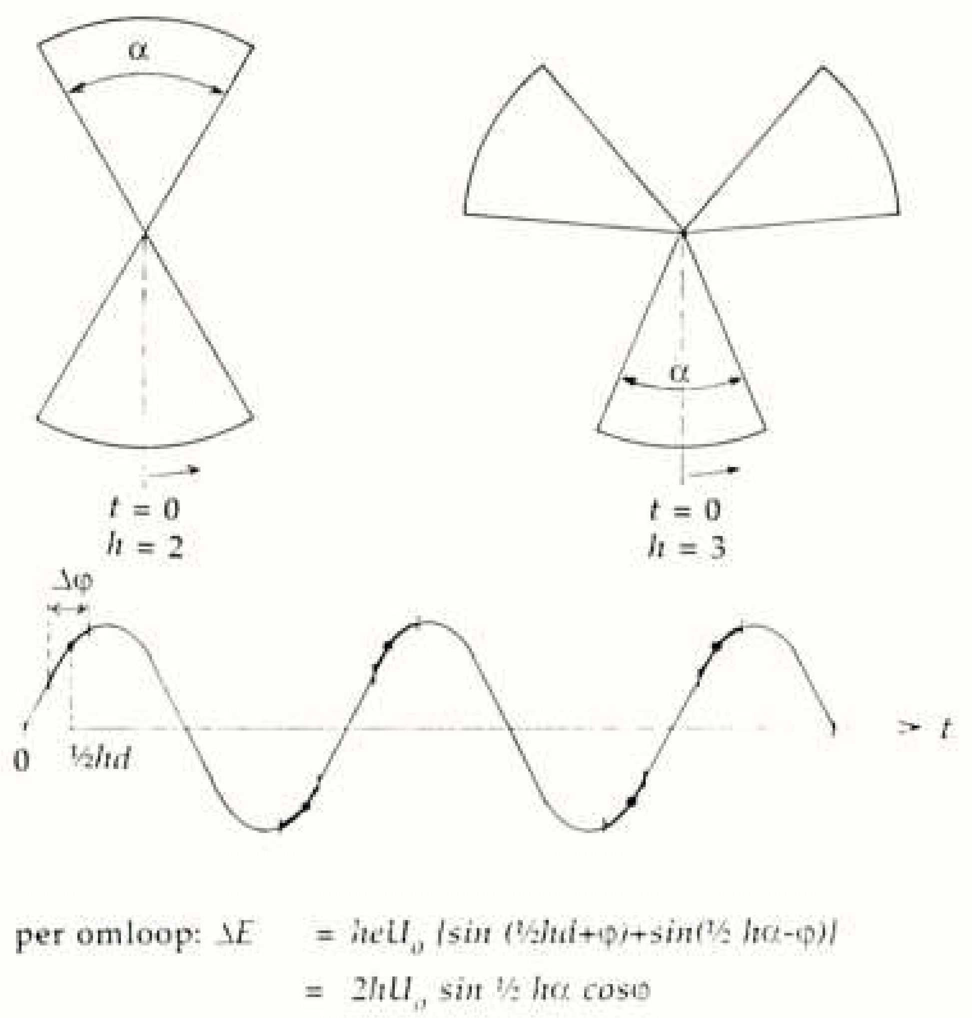
bedraagt. In het algmeen varieert B wel wat met r. Dit hoeft niet erg te zijn als in een gebieu met afwijkende B niet te veel omlopen liggen. Een gebied met wat te kleine B kan worden gecompenseerd door een ander radiusgebied met wat te hoge B mits die afwijkingen en het aantal omwentelingen niet te groot zijn.

Men werkt in de praktijk met versnelspanningen van 30 à 100 kV ten koste van bijv. 40 kWatt vermogen. De breedte van de versnelspleet is 5 à 10 mm. Veel cyclotrons kunnen verschillende soorten ionen versnellen tot een variabele eindenergie. De dee met zijn capaciteit t.o.v. de geaarde omgeving maakt deel uit van een trilholte bestaande uit een ingekorte ¼ λ coax lijn. De ingekoppelde spanning (zie fig. 1) wordt, afhankelijk van de positie van het inkoppelpunt, opgeslingerd zodat bijvoorbeeld $U_D = 4\ U_{in}$. De trilholte vormt als

regel het anode circuit van een triode of tetrodebuis in een geaarde stuurroosterschakeling. Deze vermogensbuis vormt het hart van een in principe zelfoscillerende schakeling. Door de lengte van de ¼ λ lijn te veranderen, kan ω_{hf} gekozen worden. Als ook B wordt aangepast kan van deeltje en/of energie gewisseld worden. In de praktijk wordt meestal ook U_D zodanig veranderd, dat het aantal omlopen constant blijft.

Harmonische modes

Het tot nu toe beschouwde systeem met één dee waarbij steeds na 180° versnelling optreedt is het meest klassieke. Verschillende varianten hierop zijn mogelijk. Ten eerste valt in te zien dat ook versnelling mogelijk is na steeds 3 x 180° of 5 x 180°. In die situatie is $\omega_{hf} = 3\omega_c$ resp. $5\omega_c$. Bij isochronie correspondeert nu een geometrische hoekverdraaiing Θ met een h.f. faseverschil $\varphi = 3\Theta$ of 5Θ. Als het regelbereik van ω_{hf} en/of B onvoldoende is, bijvoorbeeld bij lage gewenste energie of zware ionen met kleine e/m waarden, kan in een z.g. 3e harmonische mode worden versneld.



Figuur 3. Principevorm van een 2-dee en 3-deesysteem.

Verder kan ook gewerkt worden met meerdere dee's zoals geschetst in figuur 3. De dees hebben gelijke spanningsamplitudes en de fases kunnen, maar hoeven niet dezelfde te zijn. Een stelsel met 2 of 3 dees en $\omega_{hf} = 2\omega_c$ resp. $3\omega_c$ heet een 2e of 3e harmonische deesysteem. Zo'n systeem kan een hogere energiewinst per omloop aan een deeltje meegeven.

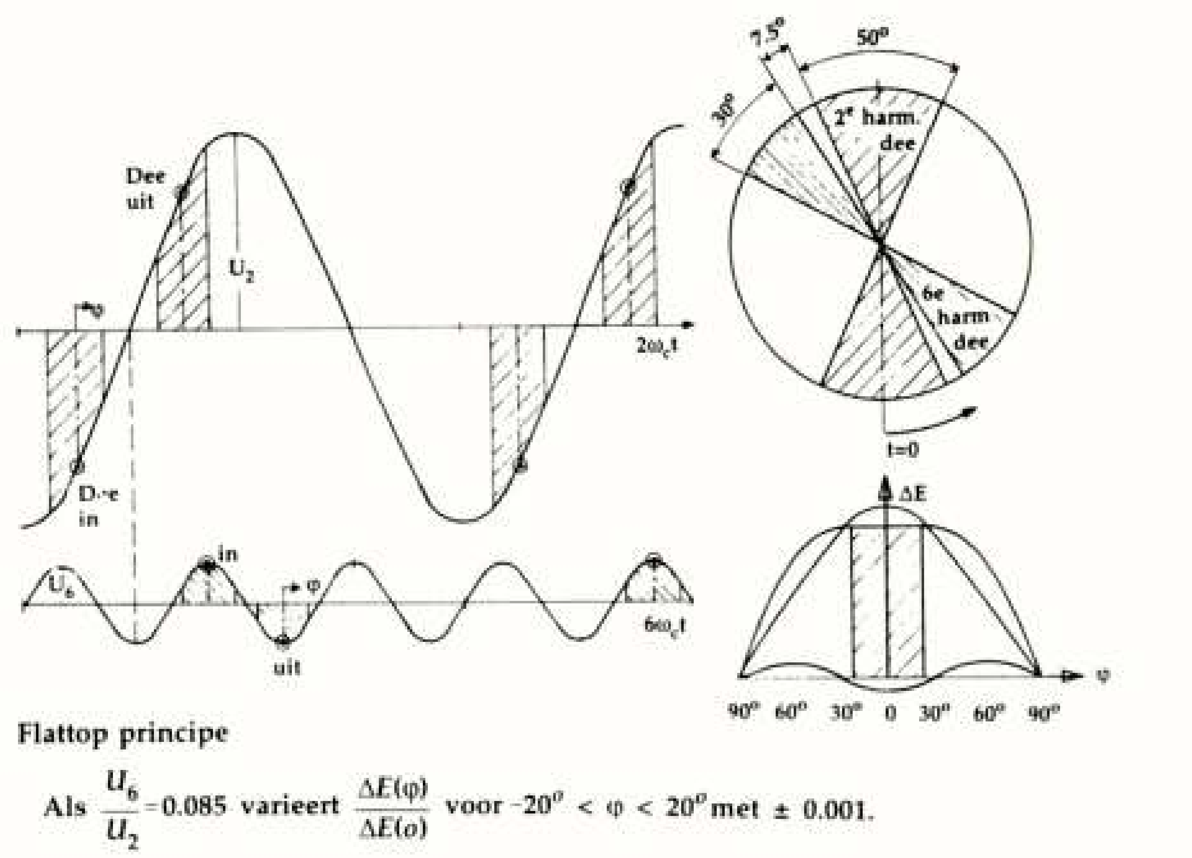
Nog een variant is dat de azimuthale breedte niet gelijk is aan 90° of 60° maar smaller. De energiewinst per omloop ΔE wordt bij een aantal van $\underline{h}$ dees met azimuthale breedte α.

$$\Delta E = eU_D h \;\{\sin(\frac{1}{2}h\alpha - \varphi) + \sin(\frac{1}{2}h\alpha + \varphi)\} = 2eU_D h \sin\frac{1}{2}h\alpha\cos\varphi \quad (4)$$

waarin φ weer de h.f. fase der deeltjes is.

Flat topping

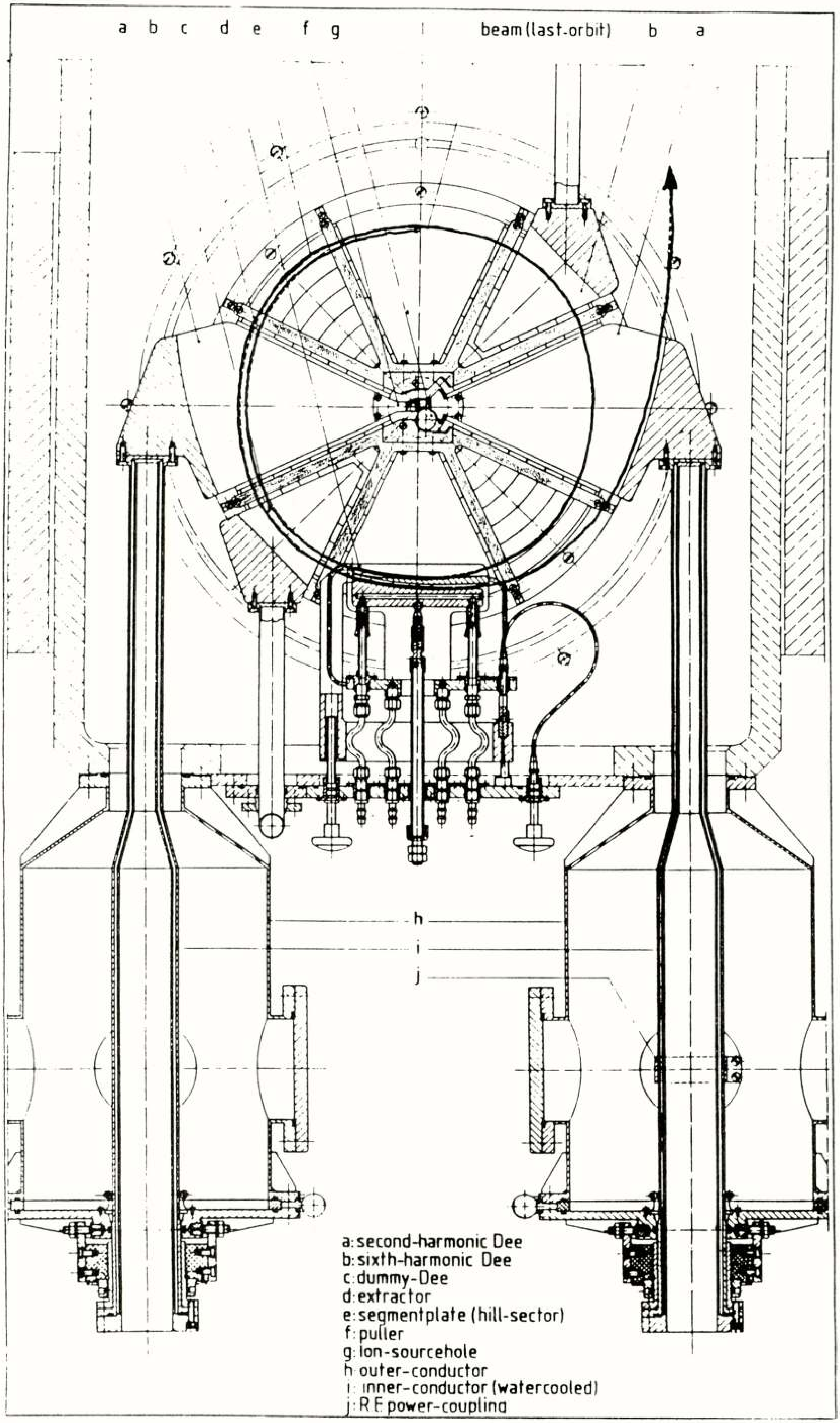
In het cyclotrongebouw van de TUE staan twee cyclotrons. Het oudste is een door de N.V. Philips in de zestiger jaren gebouwde



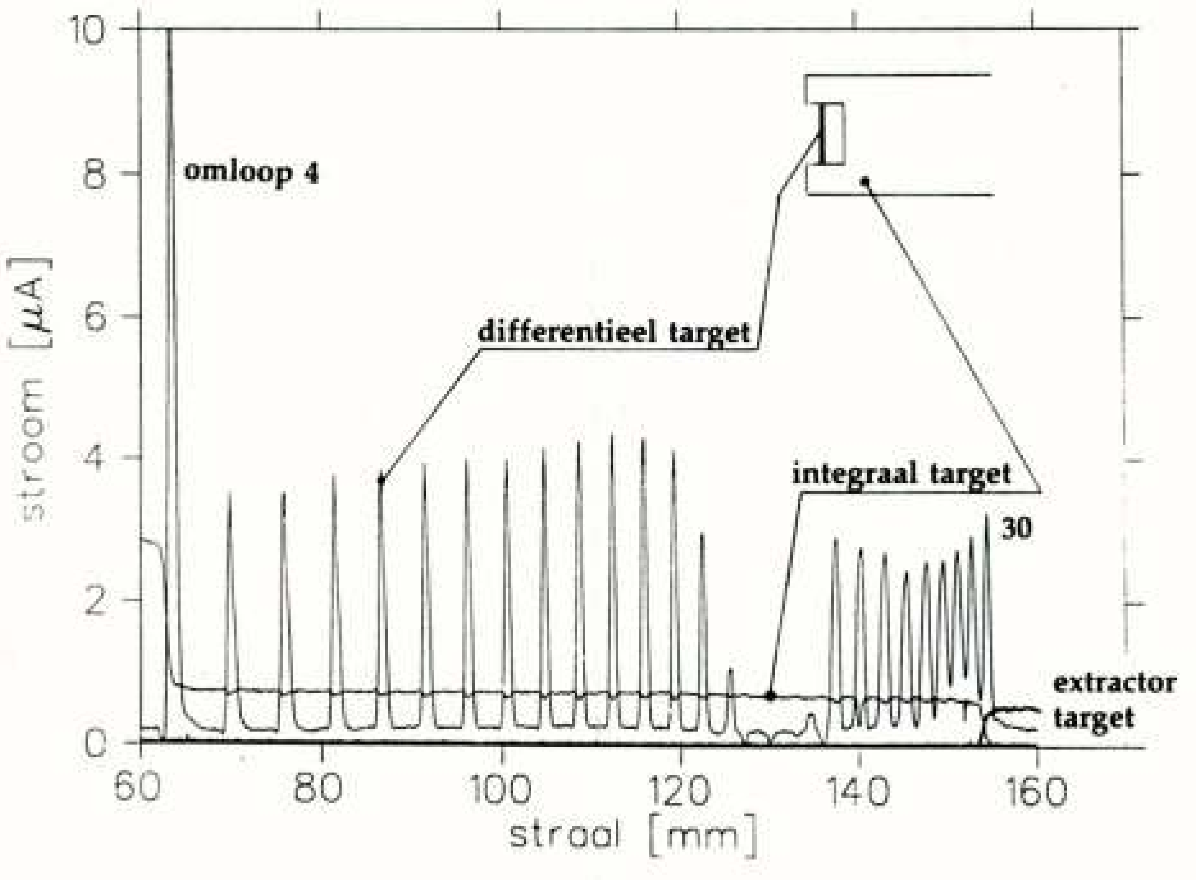
Figuur 4. Flattop principe zoals toegepast in het kleine TUE-cyclotron ILEC. Deeltjes met fase $\varphi = 0$ voelen de versnellende en vertragende spanningen aangeduid met ⊙

variabele energie machine met één 180° dee, die protonen kan versnellen tot bijna 30 MeV. Daarnaast is er een klein zelfgebouwd cyclotron voor 3 MeV protonen dat voorzien is van een 2e harmonische systeem waarvan de dees een breedte $\alpha = 50°$ hebben, zie figuur 4. Deze breedte is gekozen om ruimte te bieden aan een stel 6e harmonische dees die bedoeld zijn om z.g. flat topping tot stand te brengen ter vermindering van de energiespreiding in de geëxtraheerde deeltjesbundel. Dit werkt als volgt. Voor lage energiespreiding δE moet volgens (4) het gebied $\Delta\varphi$ rond $\varphi = 0$ klein zijn. Het zou ideaal zijn als we in plaats van met een harmonische spanning met een rechthoekige blokspanning zouden kunnen versnellen, zodat de $\cos\varphi$ factor verdwijnt. Het effect daarvan wordt benaderd door van de gewenste blokspanning naast de 1e harmonische ook de 3e harmonische fourier coëfficiënt te nemen. In ons geval zijn dat t.o.v. de omloopfrequentie der deeltjes de 2e en 6e harmonische (zie figuur 5). De onderlinge fases van 2e en 6e harmonische spanning moeten in overeenstemming zijn met de azimuthale posities der dees. De amplitudeverhouding $\hat{U}_6 : \hat{U}_2$ wordt zodanig gekozen, dat binnen een gewenst smal gebied van energiespreiding het fasegebied zo groot mogelijk is. Dit levert voor $\hat{U}_6 : \hat{U}_2$ een lagere verhouding dan die van de overeenkomstige fouriercomponenten van een symmetrische blokgolf, zie het getallenvoorbeeld bij de figuur. Om het volle profijt van dit systeem te betrekken moet wel de faserelatie tussen $\hat{U}_6 : \hat{U}_2$ beter dan 1° van het 6e harmonische signaal ingesteld en gehandhaafd worden.

Figuur 5 is een horizontale doorsnede tekening van het kleine TUE cyclotron ILEC (Isochronous Low Energy Cyclotron). De beide 2e harmonische dees zijn in het centrum metallisch verbonden en worden éénzijdig bekrachtigd. De twee 6e harmonische dees, werkend op een frequentie van 130 MHz, worden afzonderlijk, maar met gelijke fase aangestuurd. In de ruimte tegenover de extractor kan met een radiaal beweegbare verticale draadsonde, het differentieel target, het interne banenpatroon worden afgetast. In figuur 6 ziet u daarvan een voorbeeld. In de 5e omloop was een diafragma geplaatst dat met 1 mm opening ongeveer 70% van de bundel onderschept. Weergegeven is ook de totale bundelstroom die door het integraal target wordt onderschept. Omdat de hoogte van de draadsonde maar enkele mm bedraagt en in de buurt van $r = 130$ mm de bundel te hoog ligt verdwijnt daar tijdelijk het patroon. Heel duidelijk is ook dat na de 30ᵉ omloop extractie plaatsvindt en dat van single turn extractie sprake is, met een efficiëncy niet ver beneden 100%.



Figuur 5. Het 3 MeV proton cyclotron ILEC.
Voor de duidelijkheid is een aantal onderdelen niet getekend.



Figuur 6. Bundelstroom als functie van de radiale positie gemeten met een beweegbaar systeem van een 0,1 mm dik draadtarget en een integraal onderscheppend target. Na 30 omlopen wordt de bundel overgenomen door een achter de extractor geplaatst vast target. Het differentiële stroomsignaal is versterkt.

De meting van figuur 6 werd uitgevoerd zonder gebruik te maken van het flattop systeem. Binnenkort wordt dat in gebruik genomen. Omdat de breedte van de interne bundel door $\Delta\varphi$ wordt bepaald (althans voor een deel) mag verwacht worden dat met correct ingestelde 6e harmonische spanningen de getoonde differentiële stroompieken smaller en hoger zullen worden en dat volledige bundelextractie geen probleem hoeft te zijn, ook als de breedte van het interne diafragma vergroot wordt. De verwachting is dat dit in het najaar van 1994 gerealiseerd wordt.

Voordracht gehouden tijdens de 426e werkvergadering

NEDERLANDS ELEKTRONICA-EN RADIOGENOOTSCHAP

426 werkvergadering

UITNODIGING

voor de werkvergadering van het NERG op vrijdag 16 september 1994 in de Van Trierzaal in het Bestuursgebouw van de Technische Universiteit Eindhoven.

THEMA: HOOGFREQUENTE DEELTJESVERSNELLERS

Het is alweer enige tijd geleden dat een dergelijk fundamenteel onderwerp als deeltjesversnellers in een werkvergadering werd uitgediept. Het Cyclotrongebouw in Eindhoven is een van de weinige plaatsen in Nederland waar u een deeltjesversneller van dichtbij kunt bekijken.

PROGRAMMA:

13.45 - 14.00 uur	Ontvangst en koffie
14.00 - 14.10 uur	Inleiding: Deeltjesversnellers in het Cyclotrongebouw van de TUE **Dr. J.I.M. Botman**, dagvoorzitter
14.10 - 14.50 uur	Hoogfrequent vermogen in circulaire versnellers **Dr. J.A. van der Heide**
14.50 - 15.30 uur	Ontwerp en constructie van hoogfrequent versnelstructuren in het GHz-gebied **Ir. R.W. de Leeuw**
15.30 - 15.50 uur	Theepauze
15.50 - 16.30 uur	Een systeem van voedingen voor de elektromagneten in een opslagruimte vooe elektronen **A.H. Kemper**
16.30 - 17.30 uur	Bezoek aan het Cyclotrongebouw

Aanmelding voor deze dag dient te geschieden vóór 9 september aanstaande door middel van de aangehechte kaart, gefrankeerd met een postzegel van 70 cent.

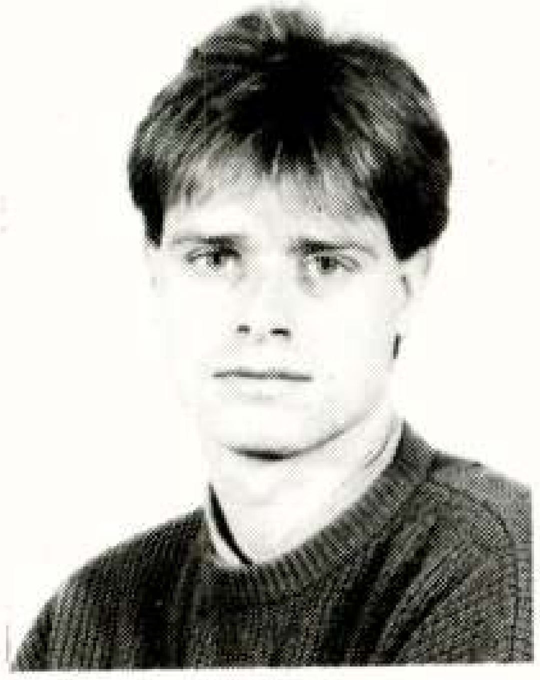
Leden van NERG en studenten hebben gratis toegang. De kosten van deelname voor niet-leden bedragen ƒ 15,00. Betalingen dienen vóór 9 september te zijn ontvangen op girorekening 94746 t.n.v. Penningmeester NERG, Postbus 39, 2260 AA Leidschendam.

Namens het NERG
Dr.ir. M.H.A.J. Herben
Ir. P.R.J.M. Smits, programmacommissaris

LINEAR STANDING WAVE ACCELERATORS IN THE GIGAHERTZ REGIME

ir. R.W. de Leeuw and ir. J.E. Coppens

Cyclotron Laboratory,
Eindhoven University of Technology,
P.O. Box 513, 5600 MB Eindhoven, the Netherlands.



ir. R.W. de Leeuw

Abstract

In this paper we describe the design and fabrication of linear accelerator structures operating in the Gigahertz regime. In principle these accelerating structures consist of a series of coupled resonant cavities. These coupled cavities structures are conveniently described with the model of coupled RLC circuits. This model predicts the different field modes in the chain and with this model it is possible to obtain the resonance frequencies of the individual cells if the resonance frequencies of the entire chain are known. The model of the coupled RLC circuits is also very helpful when interpreting the results of computer simulations of the coupled cavities. We need computer codes, because the geometries of the cavities are rather complex and it is impossible to solve the Maxwell equations analytically. The results of the computer calculations are used for the mechanical design of the cavities. The following step is the fabrication of the individual parts in a workshop. The fabrication process will be described in some detail. We conclude with some measurements on coupled cavity structures at signal level and we give the general layout of the radio frequency system of an accelerator.



ir. J.E. Coppens

1. Introduction

Nowadays linear accelerators form standard equipment for many disciplines. In hospitals they are used for the treatment of cancer, specialised firms use them for the sterilisation of medical equipment. Industry uses them to adapt material properties by deposing energy in for example polymers, where the chemical properties are altered by cross linking and scission of molecules. And in some countries, like the US, it is allowed to sterilise some kinds of food.

All these applications require accelerated beams at high energies in order to deposit energy at a certain depth in materials. Also in nuclear physics research there was and is a strong need for high energy charged particle beams. In the early days of linear accelerators, electrostatic accelerators where used to acquire these high energies. The required accelerating potentials are at least in the order of several million volts. These high voltages can be generated with electrostatic devices, but the problems are legion: how to handle these high voltages in a safe and controlled way. In practice the accelerating potential in an electrostatic accelerator becomes problematic above 10 megavolt (MV).

To overcome the problem of the high static potentials it is possible to use alternating electric fields for the acceleration of charged particles like electrons and protons. For alternating fields sparking limits are much higher and there is no voltage built up along the accelerator. This solution of alternating fields offers almost unlimited possibilities. Over rather short distances an enormous energy gain of the particles can be achieved, an electric field of as much as 20 MV per meter is nothing special at the moment.

In this paper we will describe how to design and construct accelerating structures for linear accelerators operating in the gigahertz (GHz) regime. We will put emphasis on the accelerating structure, not on the accelerating process, since we think this is beyond the scope of the present paper. We will limit ourselves to one type of accelerator: the standing wave accelerator and will not discuss the physically more complex travelling wave accelerator.

In section 2 we start with an introduction to cavity resonators, explain how they can be used for accelerating purposes and list their basic parameters. In section 3 we tie several cavities together and explain why this is advantageous for accelerating purposes and tell something about the electric field patterns, or modes, that can exist in such a coupled cavity structure. In section 4 we describe how computer codes are used for the design of coupled cavity accelerating structures. Section 5 gives some details about the special care that has to be taken when fabricating these high frequency accelerating structures. In section 6 we explain some typical microwave measurements that are performed at coupled cavities. And in section 7 we describe the typical layout of the microwave system of an accelerator. Finally we conclude this paper in section 8 with some final remarks. Throughout the paper we will illustrate the text with some examples from the accelerating structure of the Race-Track Microtron Eindhoven [1]. This accelerator is not a linear accelerator itself, but the accelerating structure can be considered as a small standing wave linear accelerator.

2. Cavity resonators

From the Lorentz eqation it follows that for the acceleration of charged particles an electric field in the direction of the particle trajectories is a necessity. By using cavity resonators it is possible to generate the extremely high electric fields that are required for the acceleration of charged particles. A cavity is actually a hollow conducting box or cylinder in which infinitely many possible

configurations of the electromagnetic fields can exist. These configurations are called modes and follow from the solution of Maxwell's equations in the free space inside the conductor. Of all possible modes mostly the first transverse magnetic (TM_{010}) mode is used for accelerating purposes. This mode has a rotationally symmetric field pattern, has its maximum electric field strength in the middle of the cavity and has no longitudinal dependence. These properties make it extremely suited for accelerating purposes (figure 1).

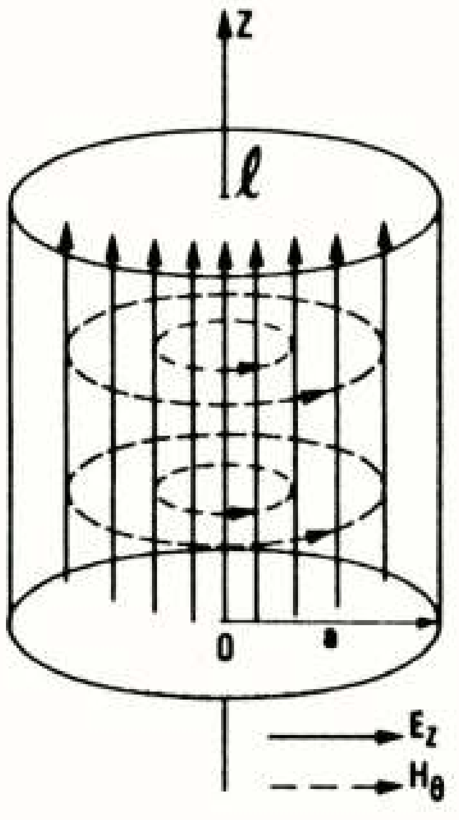


Figure 1: The field pattern of the TM_{010} mode in a finite cylinder or pill box, the z-axis coincides with the particle trajectories. The electric field lines are indicated by the solid line, the dashed line indicates the magnetic field lines.

The electric behaviour of a cavity resonating in a certain mode is similar to that of a lumped element (RLC) series resonator and can be characterised by the same parameters: resonance frequency (ω_0), quality factor (Q) and time constant (τ). For accelerating purposes some additional parameters that contain information on the electric field in the cavity are needed: transit time factor (T), accelerating potential (VT) and shunt impedance (ZT^2).
The resonance frequency of a mode is the frequency at which the stored electromagnetic energy is maximal and is therefore the operating frequency of the cavity.
The quality factor is defined as

$$Q = \omega_0 \frac{W}{P_{loss}} , \qquad (1)$$

where W represents the stored energy and P_{loss} the power losses in the cavity due to the finite resistance of the conducting material. The higher the quality factor the less power is needed to store a certain amount of energy in a cavity and the higher the electric field is for a certain amount of power. In accelerator cavities the quality factor can be as high as tens of thousands.
The time it takes to store energy in a cavity is characterised by the time constant or filling time of a cavity:

$$\tau = \frac{2Q}{\omega_0} . \qquad (2)$$

To obtain the high powers needed for acceleration the radio frequency (RF) generator is often operated in a pulsed mode with a small duty factor. Pulse duration is typically several microseconds. Since the filling time is of the order of 1 microsecond it can not be ignored.
In order to feed the cavity with energy it needs to have some coupling to the outside world. To deliver the energy the cavity is often coupled to a waveguide via an iris. The magnetic field in the waveguide is allowed to penetrate the cavity via this iris and induces the electromagnetic fields in the cavity. The iris serves merely as impedance transformer between waveguide and cavity. With the iris present the losses in the cavity increase due to power that is radiated out of the cavity via this iris. As a consequence in the calculations the quality factor has to be replaced by the loaded quality factor Q_L, which takes these additional losses into account.

The shunt impedance is defined by

$$ZT^2 = \frac{V^2 T^2}{P_{diss}} , \qquad (3)$$

where V is the voltage across the cavity and P_{diss} is the power dissipated in the cavity. The shunt impedance is given in MΩ/m. T is the transit time factor and takes into account that due to the finite velocity of the charged particle it experiences a non constant electric field during acceleration. The transit time factor is the ratio of the effective accelerating potential and the maximum cavity voltage V. Generally the transit time factor has a value between 0.75 and 0.9, depending on the geometry of the cavity.
In order to illustrate the aforementioned concepts table 1 lists some characteristic parameters of the cavity of the Race-Track Microtron Eindhoven (RTME). Figure 2 depicts the cross section of a typical accelerating cavity. The nose cones concentrate the electric field near the axis, thus raising the transit time factor and the shunt impedance. The round shapes maximise volume with respect to surface and thus stored energy with respect to dissipated power and therefore assure a high quality factor

parameter	value
f_0 (=ω/2π)	2.998 Ghz
Q	17400
τ	1 μs
ZT^2	79.9 MΩ/m
T	0.773
VT	11.24 MV/m
P_{diss}	700 Kw
acc. potential	
total structure	5.06 MV
length structure	0.45 m
duty cycle	10^{-3} - 10^{-4}

Table 1: Characteristic parameters of the accelerating cavity of RTME, see text for an explanation of the symbols.

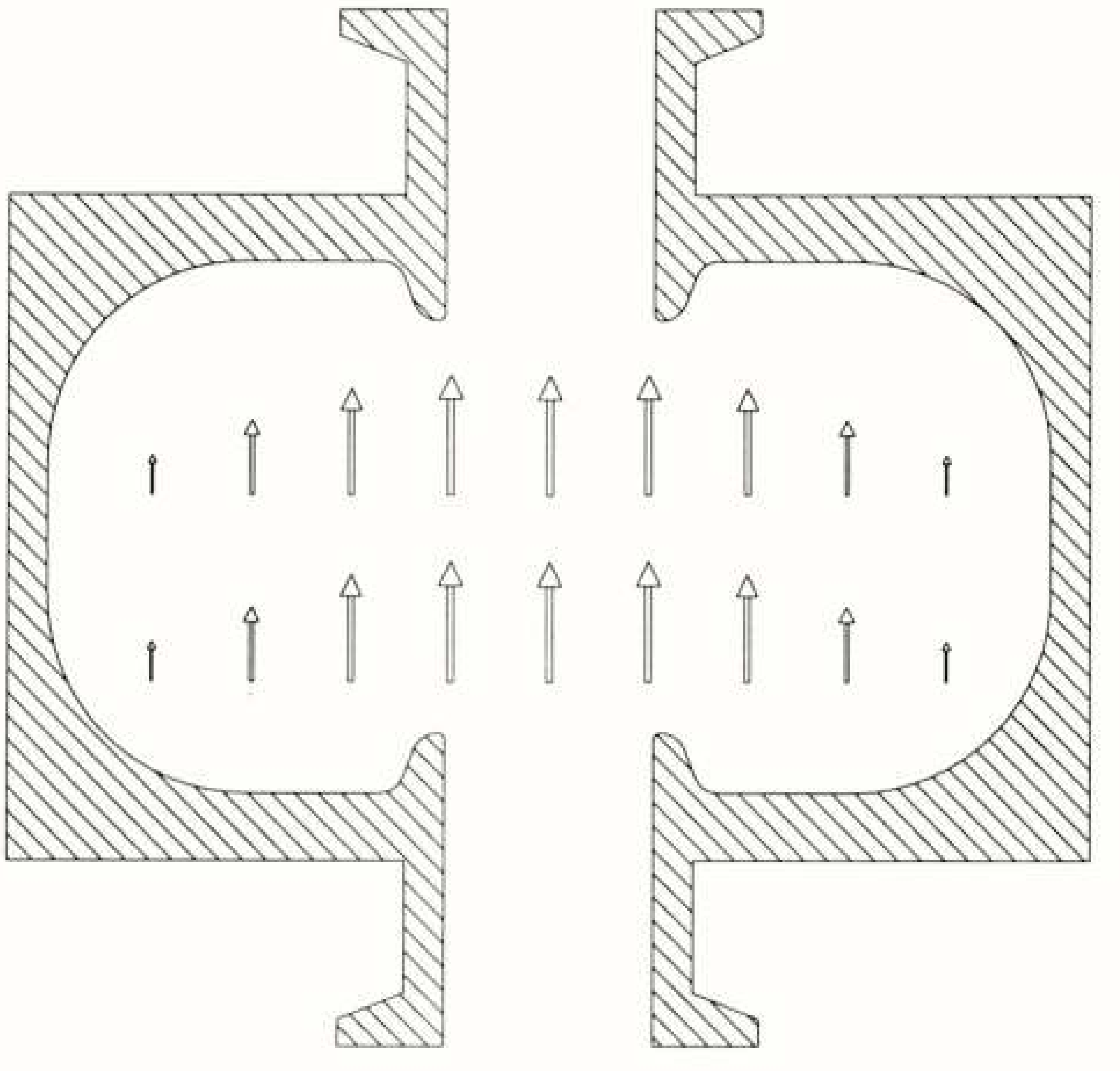


Figure 2: Layout of a typical accelerating cavity, the arrows indicate the electric field lines.

From equation 3 it is clear that it is advantageous to have a shunt impedance that is as high as possible, since the dissipated power is inversely proportional to the shunt impedance. Furthermore it can be shown that

$$ZT^2 \sim \sqrt{\omega_0}\ , \tag{4}$$

this means that it is advantageous to go to higher frequencies. The cavity dimensions vary with ω_0^{-1}, so for ease of fabrication also higher frequencies are preferable since the diameter of the cavity is roughly equal to the wavelength of the RF (10 cm at 3 GHz). At too high frequencies fabrication tolerances are getting too tight and dimensions too small for an easy acceleration of a charged particle beam. Nowadays most linear accelerators operate in the frequency regime between 350 megahertz (MHz) and 3 GHz.

3. Coupled cavity resonators

One way to diminish the power needed for a certain accelerating potential VT is to raise the total shunt impedance by using more than one accelerating cavity. Instead of powering each cavity with its own generator it is more convenient to power a number of cavities by one generator. The easiest way to achieve this is to couple the cavities by making slots in the common walls of the neighbouring cavities (figure 3a). The magnetic field circulating around the axial electric field penetrates through the coupling slots into the adjacent cavity and provides for the coupling between the fields in neighbouring cells.

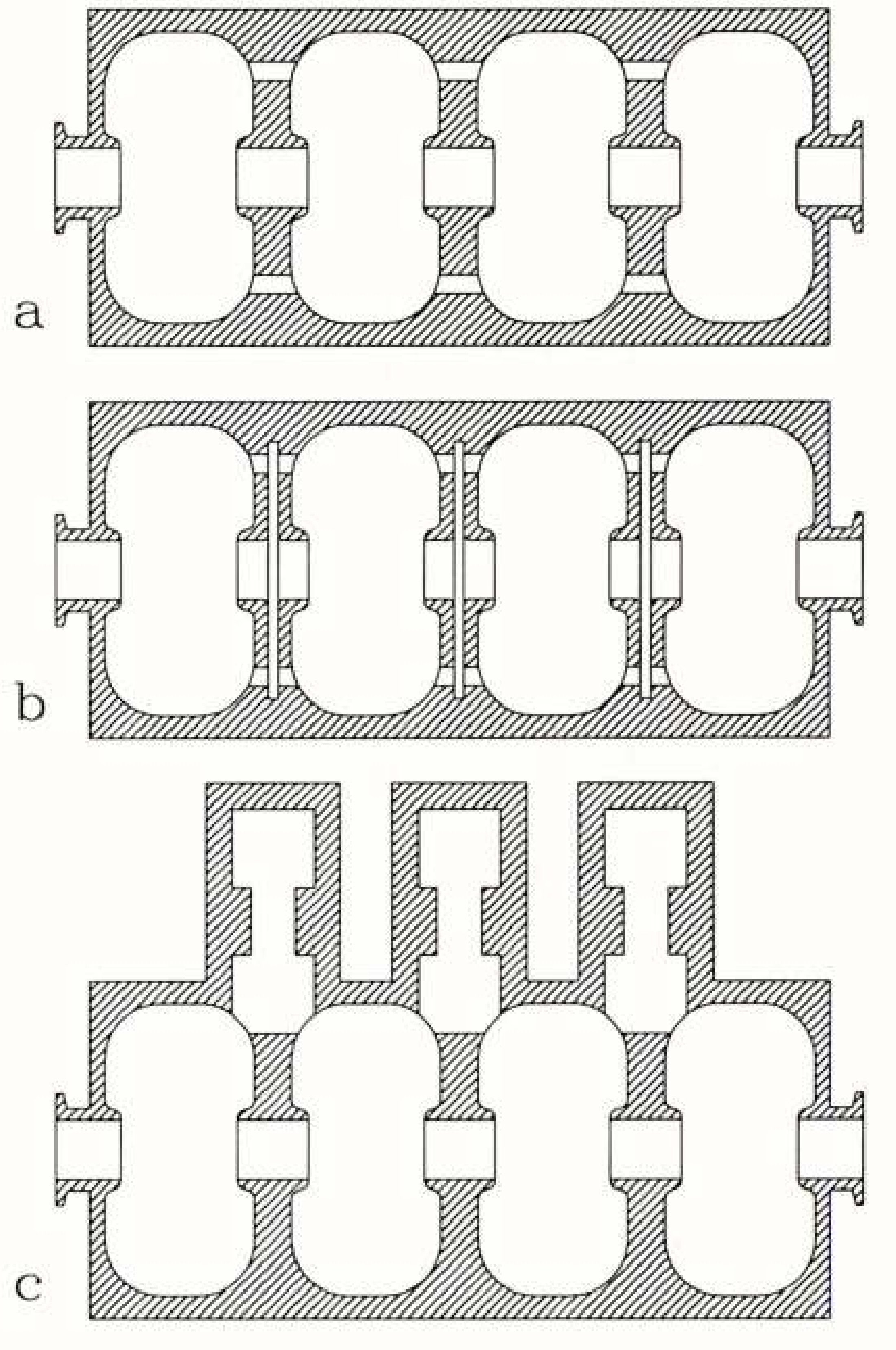


Figure 3: a) coupled cavity structure, b) coupled cavity structure with pancake-like coupling cells, c) side coupled cavity structure.

A coupled cavity structure consisting of N+1 cavities behaves as a single resonator with N+1 possible distributions of the fields over the distinct cavities and N+1 resonance frequencies. The field in each single cavity is similar to the TM_{010} mode. The behaviour of this TM_{010}-like modes of a chain of coupled cavities can be modelled with a chain of series RLC resonators coupled by the mutual inductance between adjacent resonators, see figure 4. The chain in this figure is assumed to be infinitely long.

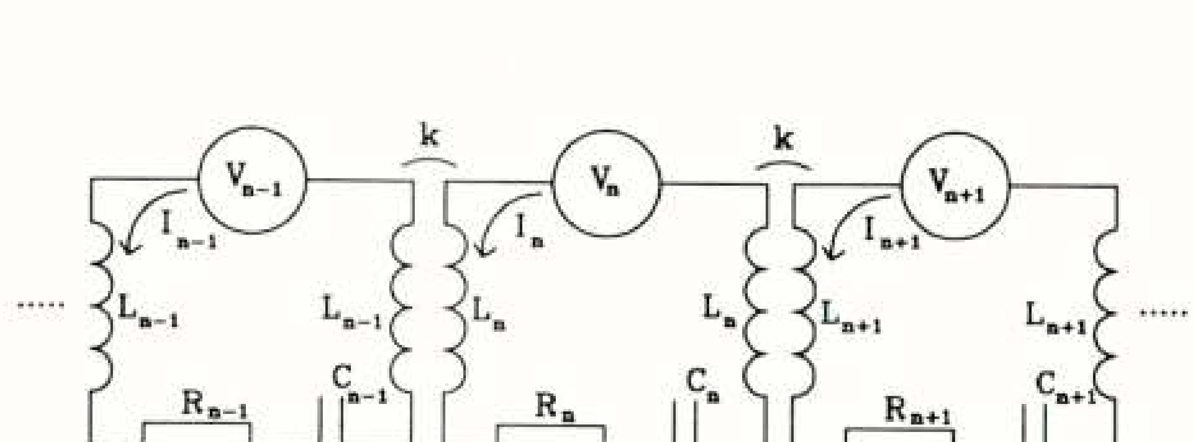


Figure 4: Coupled RLC circuits as a model for the coupled cavities.

Using Kirchhoff's laws an equation relating voltage and current in each cell can be found. Assuming that there are no losses ($Q \rightarrow \infty$) and no generators in the coupled structure and that all cells have equal resonance frequencies, this equation reads

$$X_n\left(1 - \frac{\omega_0^2}{\omega^2}\right) + \frac{k}{2}\left(X_{n-1} + X_{n+1}\right) = 0\ . \tag{5}$$

where ω_0 is the resonance frequency of the individual cavities, ω the frequency of interest, X_n a generalized amplitude in cell n that is proportional to the cavity potential and k is the coupling constant that determines the coupling strength between adjacent cells. The inductances L_n and capacities C_n are incorporated in the new variables X_n and ω_0. The equation above has travelling wave solutions, characterized by frequency and phase velocity, that is expressed as a phase shift per resonator. Substitution of the travelling wave solution in equation 5 yields a dispersion relation. This dispersion relation gives a dependency of the frequency of the travelling wave on the phase shift per resonator:

$$1 + k\cos(\phi) = \frac{\omega_0^2}{\omega^2} \; . \qquad (6)$$

This equation can be plot in a Brillouin diagram (figure 5). This is a plot of the frequency as a function of the phase shift per resonator, where the phase shift is restricted to values between 0 and π. No information is lost in this plot since the dispersion relation is a π-periodic function.

where q is the number identifying a certain mode, ϕ is the corresponding phase shift per resonator and X_n^q the amplitude of the standing wave in cell n at mode q, the amplitude A is undetermined in the lossless case. The vector X^q containing the amplitudes of subsequent cells at a certain mode is called the mode vector.

For the above standing wave solutions, boundary conditions are used of a chain terminated in cells that only have coupling slots towards the chain, 'full end cells'. The other possible boundary condition is an end cell that is bisected by a perfectly conducting plate. Chains with these 'half end cells' have a different standing wave solution.

As an example the mode vectors and the Brillouin diagram of a five cell structure with full end cells are given in figure 5. In the left part of this figure the rows of circles are a schematic representation of the coupled structure, each row represents the structure at a certain mode, identified by the number q on the left. The electric field distribution is drawn as an arrow in each cell. The number n of the cells is given at the bottom of the figure. The right part of the figure is the accompanying Brillouin diagram, which shows the dispersion relation as a continuous line, and the resonance frequency of each mode as a dot on the dispersion relation.

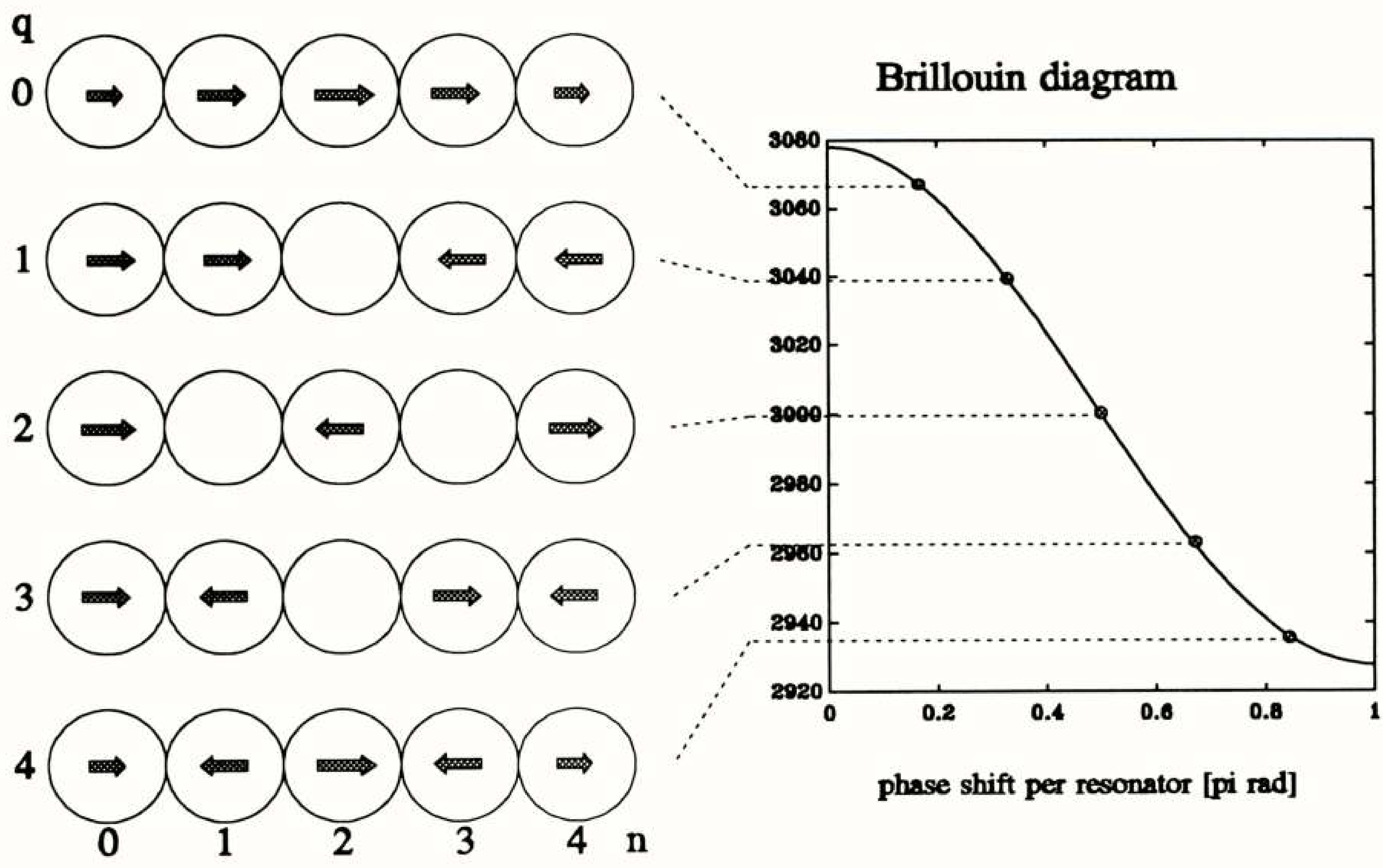


Figure 5: The mode vectors and Brillouin diagram of a 5-cell structure (N = 4) with full end cells.

However we are interested in structures with a finite number of resonators. These structures can be studied by introducing boundary conditions for two cells in the infinitely long chain. The outer left cell is numbered 0 and the outer right cell N. Travelling waves are reflected infinitely many times at the boundaries, and combine to standing waves which can exist only at certain phase shifts per resonator. The number of possible standing wave patterns is equal to the number of cells, N+1. The frequency of each mode is given by substitution of its phase shift per resonator in the dispersion relation. The standing wave solution is

$$X_n^q = A\sin(n+1)\phi \quad , \quad \phi = \frac{(q+1)\pi}{N+2} \quad , \quad q = 0,1,..N \; , \qquad (7)$$

Remember that an equal distribution of the fields over all cells was assumed when the advantage of multiple cavity structures was explained. Unfortunately there is no mode which has equal amounts of stored energy in each cell (not with the full end cell boundary conditions considered here).

However the mode with $\pi/2$ radians phase shift per resonator has a field distribution such that even numbered cells store equal amounts of energy, and odd numbered cells are empty. This mode is adequate for acceleration, however due to the empty cells the shunt impedance per meter will be only half the optimum value. The shunt impedance per meter of a coupled structure operating in the $\pi/2$ mode can

approach its optimum value when the structure is made bi-periodic. The cells that do not store energy take no part in the acceleration of particles, they only serve the coupling of the structure. The geometry of these coupling cells can be made such that they occupy as little space as possible, for instance by shaping them as a flat pillbox or by shifting them from the accelerating axis (figure 3b and c). The cells that contain the accelerating field are called accelerating cells and the cells that provide the coupling between these accelerating cells will be called coupling cells.

From perturbation calculations it appears that the $\pi/2$ mode is by far the least sensitive mode for small fabrication errors [2]. This is the reason that almost all present operating structures operate in the $\pi/2$ mode.

Figure 6 depicts the accelerating structure of RTME, note the flat pancake shaped coupling cells that contain no accelerating field. Also note the transition section between wave guide and cavity with the coupling iris. The small tubes are for the attachment of vacuum pumps, since the structure is operated at a pressure of approximately 10^{-7} Torr or less.

First we determine the geometry of the accelerating cavity with the optimization of the shunt impedance at the design frequency as criterion. The length of the accelerating cells operating in the $\pi/2$ mode is fixed by the demand that a particle travels from accelerating cell to accelerating cell in half an RF period. For the optimization procedure we use the two dimensional (2D) computer code SUPERFISH. This code calculates resonance frequencies, quality factors, shunt impedances, transit time factors and many other parameters for arbitrarily shaped cavities with cylindrical symmetry. This symmetry constraint is also the most important disadvantage of the code, effects due to non rotationally symmetric shapes, such as the coupling slots between neighbouring cavities can not be accounted for with this code. These slots will lower the resonance frequency of the accelerating cells due to the virtual increase of the volume (the magnetic fields will penetrate the slots).

Because of its restriction to azimuthally symmetric modes of cylindrically symmetric geometries, such that a 2D relaxed mesh can be used, SUPERFISH calculations are more accurate than codes that use a three dimensional (3D) mesh. Comparison between calculated

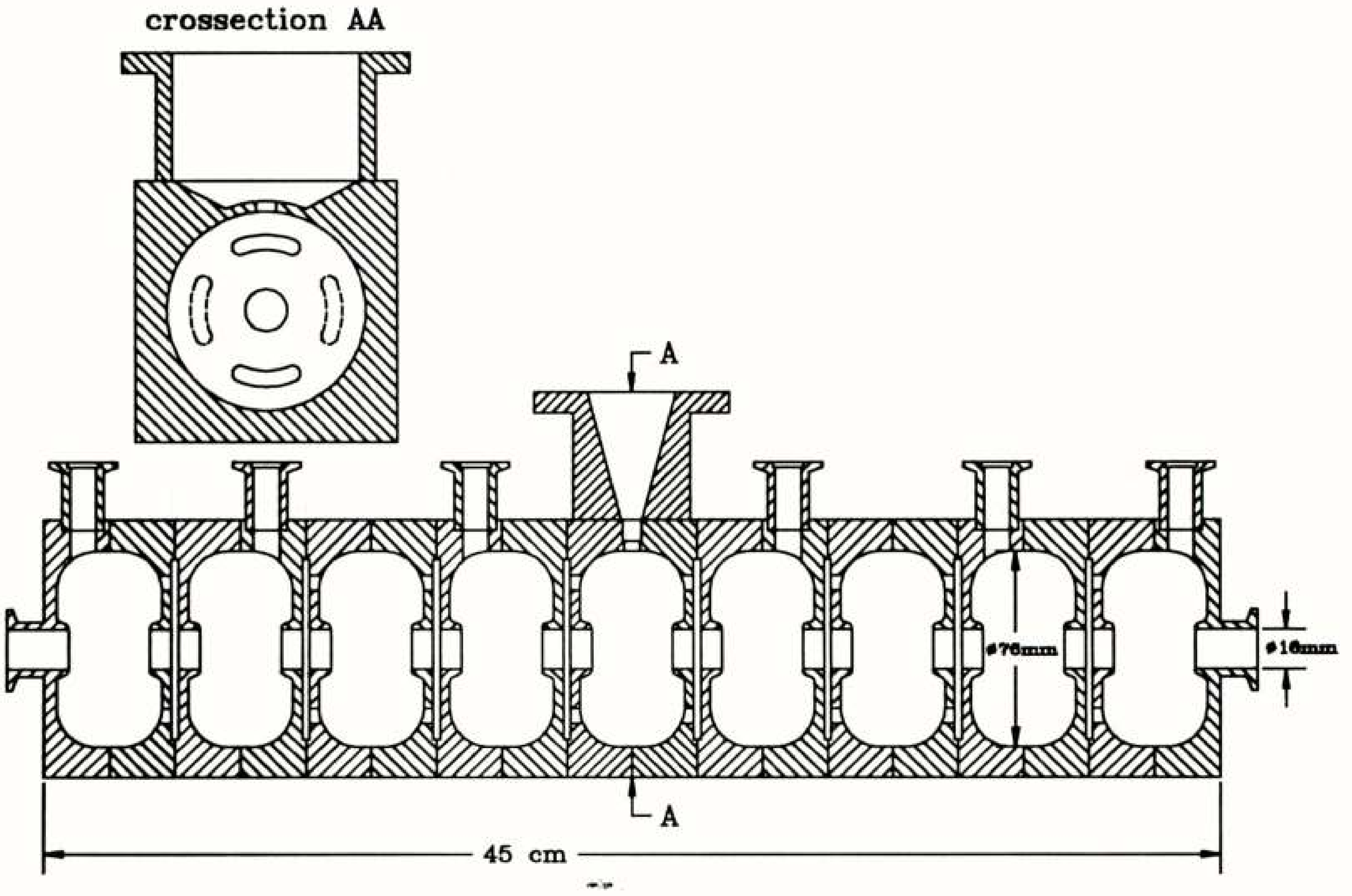


Figure 6: The accelerating structure of the Race-Track Microtron Eindhoven

.4. The use of computer codes for cavity design

The theory as given in the previous sections starts from the resonance frequencies and coupling coefficient of the individual resonators. To construct a real accelerating structure we need a link between these describing parameters, ω_0, k and also ZT^2 and T, and the cavity geometry. This relation is given by the solution of Maxwell's equations. Solving Maxwell's equations analytically is impossible for the geometries used in most accelerating cavities. However computer codes are available that numerically solve Maxwell's equations with satisfying accuracy. Two of these codes, SUPERFISH and MAFIA are used and combined to find the optimal design for an accelerating structure.

and measured frequencies shows that these generally agree within 1‰.

To take the 3D effects into account we use the 3D code MAFIA (solution of MAxwell's equations using the Finite Integration Algorithm). This code uses a rectangular mesh. Due to the 3D character of the problem the MAFIA calculations demand a lot of CPU time, which puts an upper limit on the number of mesh points (figure 7) and which makes MAFIA calculations relatively inaccurate. The difference between calculated and measured frequencies can easily exceed 1%.

In order to overcome this inaccuracy of MAFIA we combine both codes: With MAFIA we recalculate the cell designed with SUPERFISH.

This yields a 'MAFIA' frequency, f_{acc}, for the accelerating cell. The same thing is done for the coupling cell: SUPERFISH is used to optimize for the frequency and with MAFIA the cell is recalculated: f_{cou}.

Now a short section consisting of two half accelerating cells with coupling slots connected to one full coupling cell is used as input for MAFIA (figure 6). The left and right terminating planes are assumed to be perfectly conducting: the electric field lines have to be perpendicular to the surface. By assuming infinite permeability at the other boundaries (electric field lines aligned to the surface) the calculated structure is limited to only a quarter of the full circumference.

As described in the previous section, this three cell accelerating structure will have three ground modes. The three frequencies of these modes can be used to calculate three parameters: the frequencies of the individual accelerating and coupling cells and the coupling coefficient k in the presence of the coupling slots.

First the size of the coupling slots is adjusted till the desired coupling coefficient is obtained, in the order of 4 -- 8 %. The presence of the coupling slots will lower the frequencies of the accelerating and coupling cells by an amount of Δf_{acc} and Δf_{cou} in the order of 1 % and 10 % respectively. Now SUPERFISH is used to correct for the frequency drop by slightly adjusting the geometry; by varying the distance between the nose cones or the outer radius. This correction is necessary since we want to operate the structure at a predefined frequency, most of the time dictated by the frequency of the RF generator. The newly obtained dimensions are verified with the MAFIA code. This iterative procedure is repeated until the stop band is closed, i.e. the individual resonance frequencies of coupled accelerating and coupling cells are equal and at the desired resonance frequency.

By this combination of computer codes the disadvantages of both codes are overcome and the accuracy of the one code is combined with the 3D character of the other code. This rather complex method of cavity design yields surprisingly good results. Predicted frequencies for coupled accelerating and coupling cells again generally agree within 1 ‰ with measured values.

Figure 7 shows a convenient feature of MAFIA; it is able to give an arrow plot of the electric and magnetic fields of each mode of a structure. The figure depicts the electric field lines belonging to the $\pi/2$ or accelerating mode for the geometry described above. Note that the electric field is almost zero in the flat coupling cell.

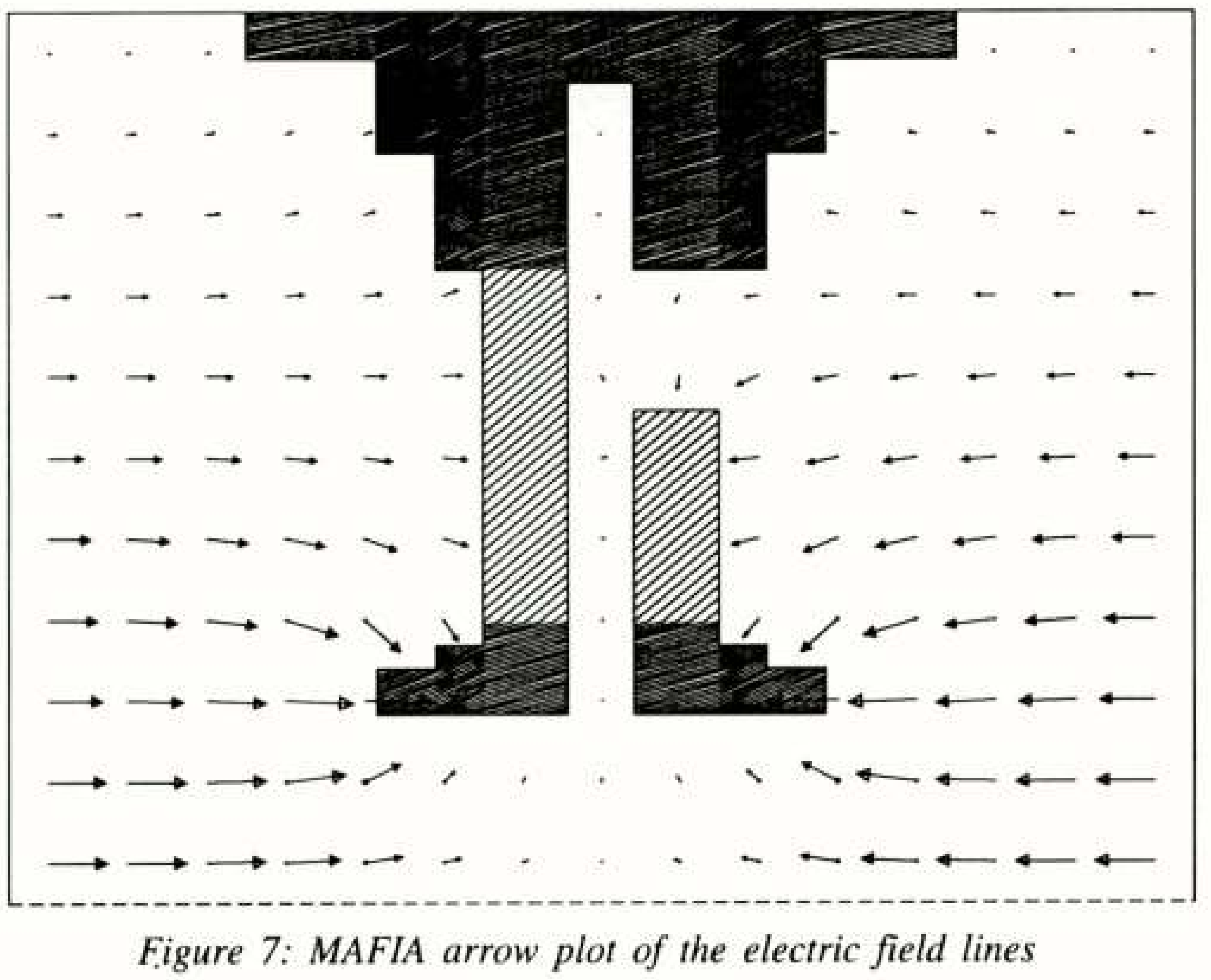


Figure 7: MAFIA arrow plot of the electric field lines in the $\pi/2$ mode.

5. The fabrication of accelerating structures

Once the geometry of the accelerating and coupling cavities is established by means of the computer codes described in the previous section, the data are handed over to a designer who translates this computer data into a construction drawing for a technical workshop. For the proper operation of the accelerating structure it is important that the fabrication satisfies a great number of demands. First of all the calculated profile has to be followed as accurate as possible in order to obtain the designed resonance frequency. This is not at all trivial since the tolerances on the dimensions are as little as 0.01 mm. This means only skilfully operated CNC lathes are appropriate to be used for the fabrication of accelerating structures.

Secondly the surface of the cells has to be as smooth as possible in order to minimise RF losses in the structure and to avoid the risk of voltage breakdown due to sparking. The high frequency currents only flow in a surface layer with a thickness equal to the skin depth, which is of the order of one micrometer. If the surface roughness has a substantially higher value than the skin depth the path length of the currents is elongated, thus raising the resistance and lowering the Q value. Since ZT^2/Q is only geometrically determined this lowering of the Q value implies a lowering of the shunt impedance and thus an increase in consumed power. Last of all the choice of the proper material is very important. Not only we demand a high conductivity, but also a pure material with little contamination in order to be able to obtain good vacuum (typical 10^{-7} Torr). Therefore almost all accelerating structures are made out of oxygen free high conductivity copper. This is a rather soft material, where one would prefer a nice hard material like aluminium or brass for ease of fabrication. But it is not possible to use these materials due to impurities and electron resonance effects while operated as high power accelerating structure.

Once the dimensions of the individual cells and coupling slots are established on the basis of computer calculations and model measurements the accelerating structure is fabricated. Since it is easiest to lower the frequency of the individual cells by enlarging the volumes, the structure is designed at a frequency that is 0.25% high in order to be able to correct for fabrication errors. Because of the softness of the material a special fabrication sequence has to be followed. First of all the geometry is milled to 0.2 mm from the final dimensions. Secondly all holes are drilled. These holes provide the coupling between the neighbouring cells but also holes are needed to transport the cooling water (of course outside the resonator) and for vacuum pumping. Due to the working of the material it contains a lot of stress. In order to get rid of this stress the parts are heated to a temperature of approximately 600 degrees celsius during several hours. After cooling down the cells are milled to their design geometry. The resonance frequencies of the structure are measured (see next section) and the resonance frequencies of the accelerating and coupling cells and the coupling constants are calculated with the aid of the dispersion relation (eq.7). If necessary, this is almost always the case, the geometry of the cells is adjusted. This procedure is repeated until the desired frequencies are obtained. As a final step the structure is brazed in a vacuum oven.

Now the accelerating structure in principle is ready for use. However before it actually can be used for accelerating purposes it has to be conditioned under vacuum and high electric field strengths. Due to initial defilements of the surface of the structure it will show voltage break down already at rather low values of the electric field. By simply applying an electric field and by slowly raising the electric field strength the limit for voltage break down is shifted to higher values of the electric field. This process is called conditioning. A

typical conditioning time for an accelerating structure with not too high an accelerating field is of the order of several days. During these days many voltage break downs will occur, but as long as the stored energy in the structure is not too high, this structure will not be damaged by the break downs and finally the number of break downs will diminish.

6. Measurements

As outlined above the basic behaviour of a resonator is mainly described by the three parameters ω_0, Q and ZT^2. The resonance frequency and quality factor can be measured directly with a vector network analyzer. The measurement of ZT^2 is done indirectly by measuring the magnitude of the electric field as a function of position on the cavity axis.

Cavity properties are measured via probes that couple the electric or magnetic field in the cavity into coaxial transmission lines. Measurement of ω_0 and Q is done by determination of the amount of signal transmitted through the cavity from one probe to the other. The ratio of the amplitudes of the transmitted and received signals, called the transmission loss, $T(\omega)$, is a function of the signal frequency ω:

$$T(\omega) = \frac{T(\omega_0)}{1 + 4Q^2\delta^2} \quad , \quad \delta = \frac{\omega - \omega_0}{\omega} \quad , \qquad (8)$$

where $T(\omega_0)$ is the transmission loss at the resonance frequency. The transmission coefficient as function of frequency is measured with a vector network analyzer. The resonance frequency ω_0 is now accurately found by taking the average of the two frequencies of both half power points. And Q is the ratio of the Full Width Half Maximum value of the transmitted power and ω_0.

By using the transmission method actually the loaded Q-value is measured, but by reducing the coupling of the two probes by retracting them from the cavity to a very good appróximation the unloaded or natural Q-value is determined (the transmission can be as low as -50 dB).

As outlined before, coupled cavity structures have multiple resonance frequencies with TM_{010} like modes. As an example the transmission loss as function of frequency measured at a five cell structure with half end cells is given in figure 8. The transmission is measured via two electric probes on the axis of each endplate. The peaks in the figure are the five resonance frequencies: from left to right the peaks belong to the π, $3\pi/4$, $\pi/2$, $\pi/4$ and the 0 mode. The resonance frequencies of the chain modes with a phase shift per resonator of 0, $\frac{1}{2}\pi$ and π radians are used to calculate the design parameters: ω_a, ω_c and k.

The shunt impedance of a cavity and related parameters such as the transit time factor can be related to the electric field on the cavity axis. The magnitude of the field is found by inserting a small metal bead and translating it over the central axis. The bead perturbs the fields in the cavity such that a shift of the resonance frequency is found depending on the amount of energy that was stored in the space that now is occupied by the bead. Since the bead is on the axis,

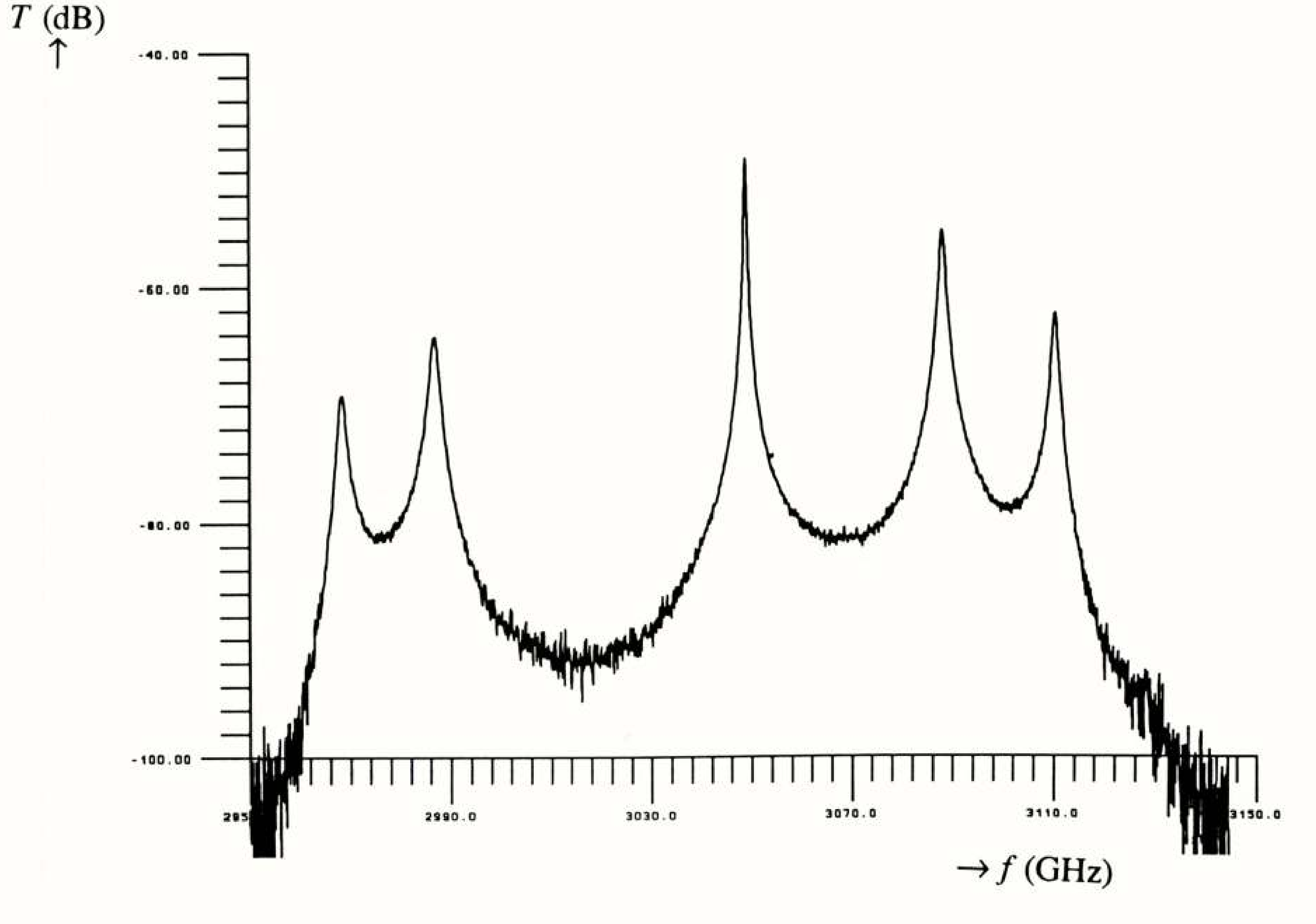


Figure 8: Spectrum of the resonance frequencies of a 5-cell structure terminated with half end cells.

where the magnetic field is zero for TM_{010} like modes, the frequency shift found only depends on the electric field:
The field measurements are done with a translation device to position the bead; at each

$$\frac{d\omega}{\omega} \propto E_z^2 \,. \tag{9}$$

position the shift of the resonance frequency is measured via the transmission method. Both the translation device and the vector network analyzer are connected to a computer for automatic measurements. Magnetic probes are used for this type of measurement as these probes are located near the outer wall of the cavity (where the magnetic field is maximal), such that the beam pipe is free of obstacles. In figure 9 the result of a field measurement in the $\pi/2$ mode of a five cell structure with full end cells is given.

amplitude of the high power RF by controlling the low power input. The higher power output, the better control and the knowledge that the stability of a klystron is orders of magnitude better than that of a magnetron is the reason that all major accelerator facilities use klystrons as high power RF source, despite the fact they are about 100 times as expensive as magnetrons. Only the smaller accelerators such as the ones used in hospitals for cancer treatment most of the time utilise magnetrons.

Table 2: Characteristics of magnetrons and klystrons.

characteristic	magnetron	klystron
maximum peak power (MW)	2.5	40
maximum average power (kW)	4	60
maximum pulse length (ìs)	10	cont.
efficiency (%)	50	40
modulator output voltage (kV)	50	100-300
modulator output current (A)	100	60-300
low power drive	no	yes

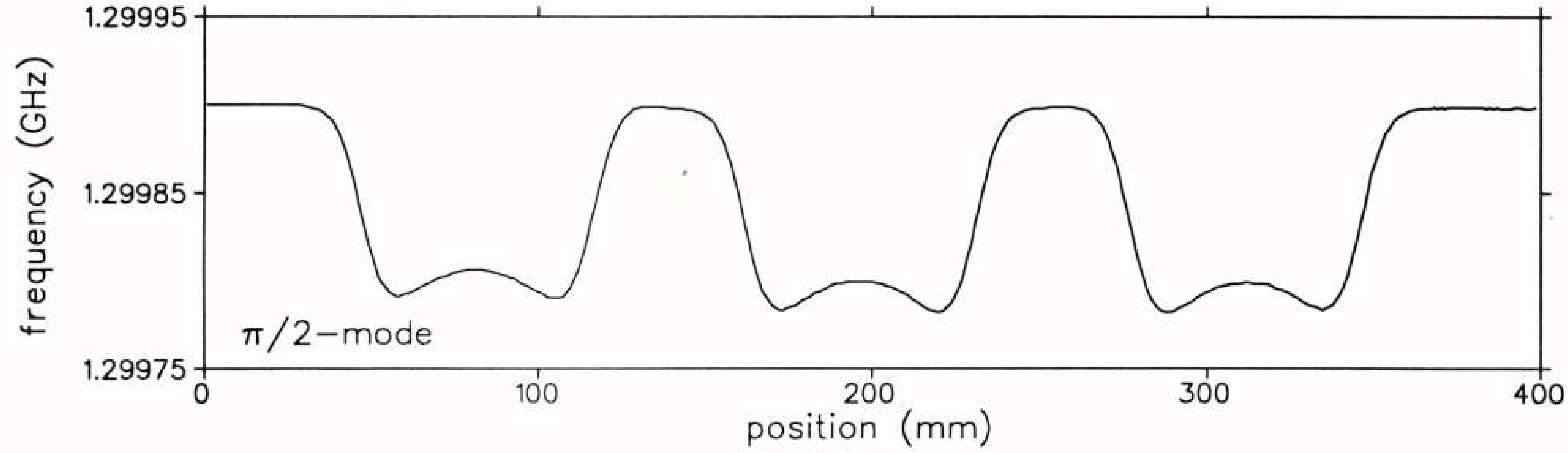


Figure 9: Electric field profile of the π/2 mode in a 5-cell structure terminated with full end cells, resonating at 1.3 GHz [3].

7. A microwave system for an accelerator

Figure 10 depicts the typical lay-out of the high power microwave system of an accelerator.

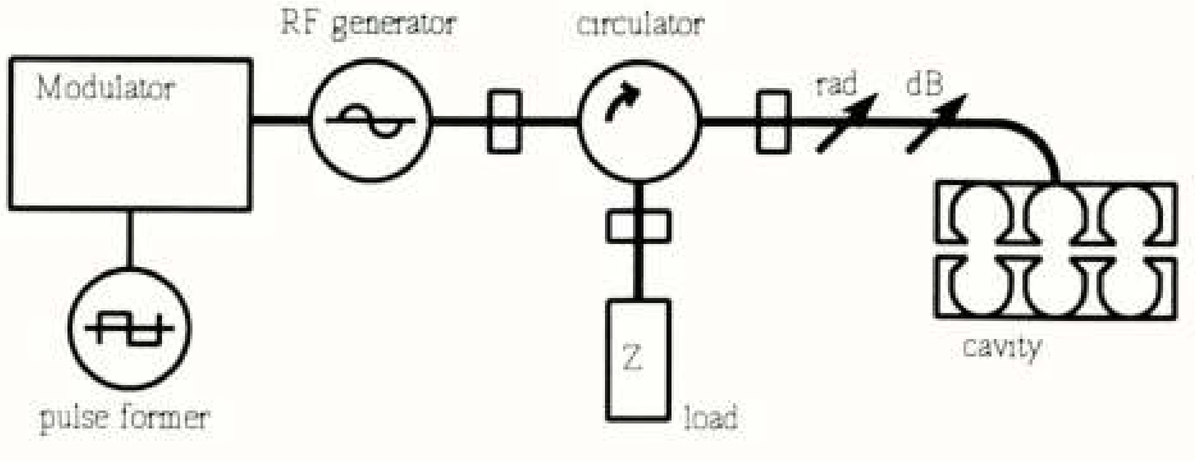


Figure 10: Typical layout of the high power microwave system of an accelerator.

As RF-generator almost always a klystron or magnetron is used in pulsed mode operation.
Table 2 lists some characteristics of magnetrons and klystrons. The fact that a klystron has to be driven by a low power drive is an advantage when more than one RF generator is needed. This external source offers the ability to control phase and

The high voltage power for the RF generator is delivered by a modulator. This resonant LC-circuit is charged to the desired value and then short circuited by a thyratron or by solid state switches. Often via a pulse transformer the pulse is delivered to the RF generator, which launches the microwave into a waveguide. This waveguide is operated under a pressure of 2 bar of dry nitrogen or SF_6 in order to avoid sparking. Via a circulator, which protects the generator against reflected power due to mismatches, and a vacuum window the power is delivered to the cavity.
The coupling of power into the cavity is done via an iris. This iris acts as impedance transformer; the impedance of the waveguide is transformed to the cavity impedance. In the waveguide between circulator and cavity often a phase shifter and attenuator are incorporated in order to adjust phase and amplitude of the source to the desired values.

8. Concluding remarks

The topic of particle accelerators provides a challenging field of research, where people are always pushing the limits, trying to obtain higher accelerating fields, higher energies, higher beam power or more intense beams. All these aspects demand a more complicated, physical, mechanical and electronic design. And it is clear that however the RF engineering plays a vital role it only is one of the players while designing and constructing an accelerator.
From this paper it will become clear that already the design and construction

of the accelerating structure itself is a complex process with many aspects that have to be taken into account. The accelerating process determines e.g. the length of the cavities and often also the resonance frequency. The power dissipated in the cavity puts demands on the geometry and cooling requirements. The high electric fields require that special care is taken for the surface finishing, and so on. We think these interlinked problems and demands are also the charm of this field of research where fairly large machines are being built to accelerate such small particles as electrons or protons.

References

[1] J.I.M. Botman and C.J. Timmermans, Accelerators in the TUE cyclotron building, this journal.

[2] J.E. Coppens, Design study for the accelerating structure of the race-track microtron eindhoven, TU Eindhoven, Internal report VDF/NK 94-18 (1994).

[3] W.J.G.M. Kleeven et. al., The accelerating cavity of the TEUFEL race-track microtron, Proc. of the European Part. Acc. Conf. 1994, London (to be published).

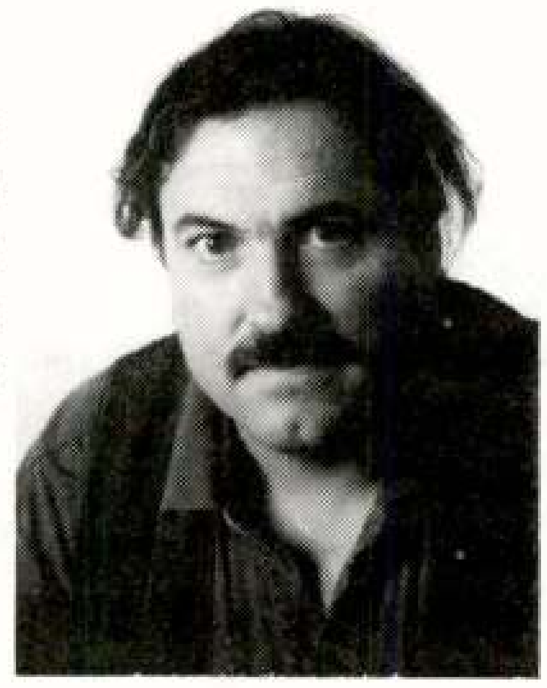
Voordracht gehouden tijdens de 426e werkvergadering

EEN SYSTEEM VAN VOEDINGEN VOOR DE BUIGMAGNETEN IN EEN OPSLAGRING VOOR ELEKTRONEN

A.H. Kemper
Onderwerpgroep kernfysische technieken
Cyclotron laboratorium,
TU Eindhoven

Summary

This contribution describes a proposal for a distributed power supply system for the bending magnets of a 400 MeV synchrotron. A brief introduction of the possible methods with their advantages and disadvantages will be given. The chosen solution for the bending magnets has the main advantage that the leakage current due to the internal cooled coils of the magnets is minimized. In essence it combines the advantages of one big power supply (equal current through all coils) with those of separated power supplies (low voltage hence low leakage current).



1 Inleiding

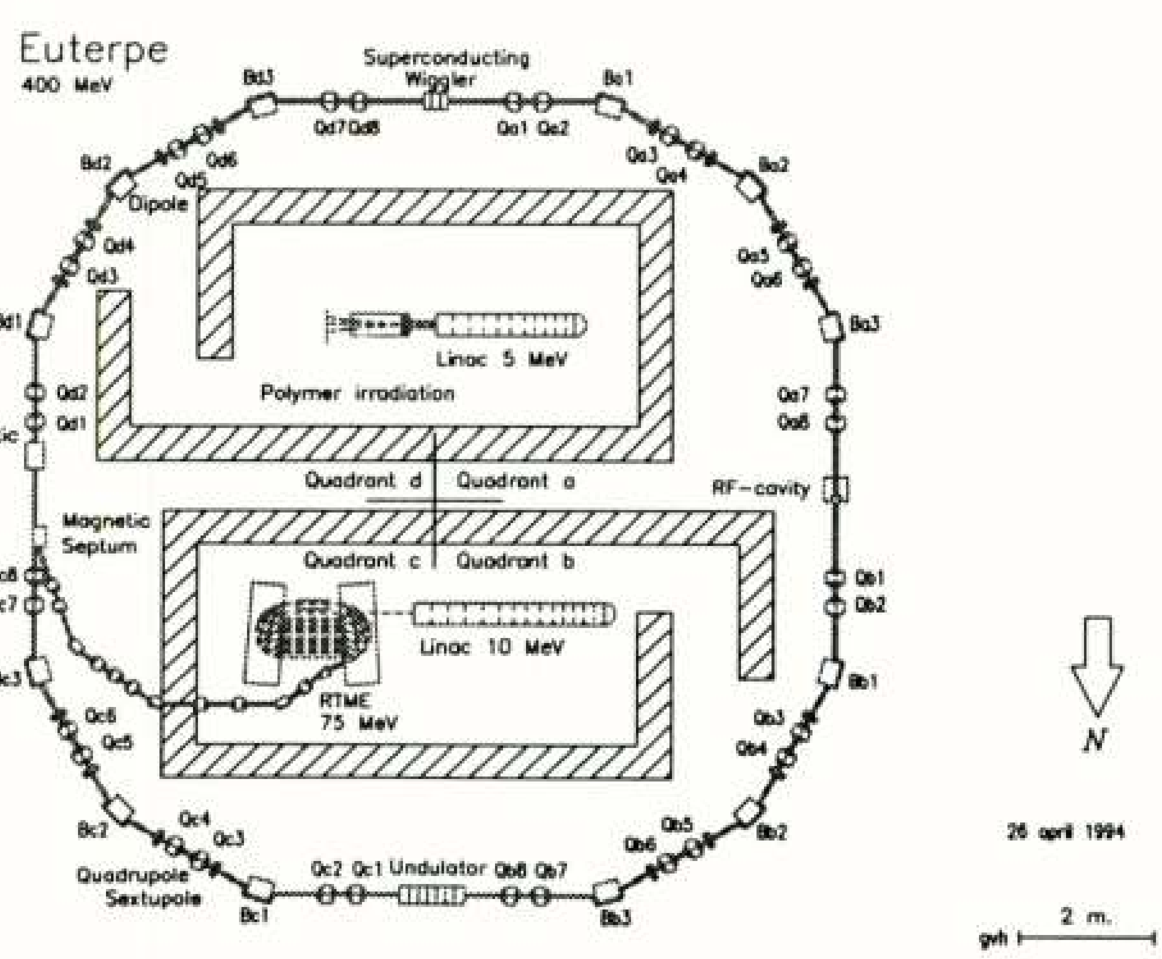
Bij de Faculteit Technische Natuurkunde van de Technische Universiteit Eindhoven wordt een 400 MeV elektronenopslagring gebouwd, met de naam EUTERPE (Eindhoven University of TEchnology Ring for Protons and Electrons). [1] Het doel van het project is tweeledig:

1) Er worden studies verricht en er wordt ervaring opgedaan op het gebied van bundeldynamica en versnellertechnologie.

2) Zodra de opslagring gereed is gaat deze gebruikt worden voor onderzoek met behulp van en aan synchrotron straling welke met behulp van de ring opgewekt wordt.

De omtrek van de ring bedraagt 40 meter. In de bundellijn zijn 12 dipoolmagneten opgenomen welke de bundel steeds 30° afbuigen. De focussering vindt plaats met 32 quadrupoolmagneten in de bundellijn geplaatst.

Als injector gaat het RaceTrack Microtron Eindhoven (RTME) met een eindenergie van 75 MeV dienen.



Figuur 1. Schema opbouw electronenopslagring EUTERPE

De injector voor RTME is een lineaire versneller met een eindenergie van 10 MeV. Figuur 1 geeft een schematische tekening van het geheel.

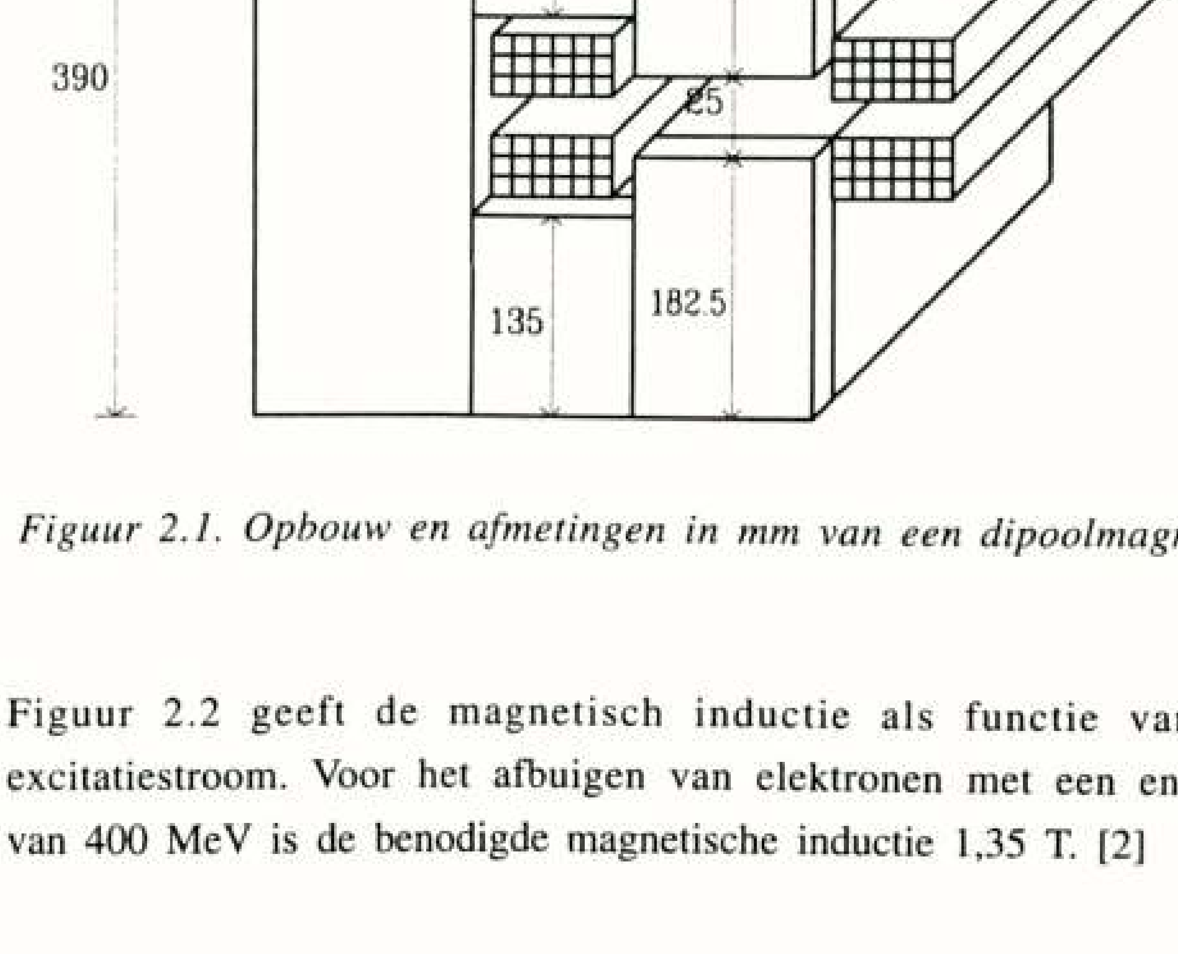
Dit artikel behandelt de voeding en benodigde sturing voor de bekrachtiging van de 12 dipoolmagneten.

2 De construktie van de dipoolmagneten

Figuur 2.1 geeft de opbouw en afmetingen van de 12 dipoolmagneten. Het juk bestaat uit 5 blokken gelamelleerd transformatorblik welke door een lijmverbinding met elkaar verbonden zijn.

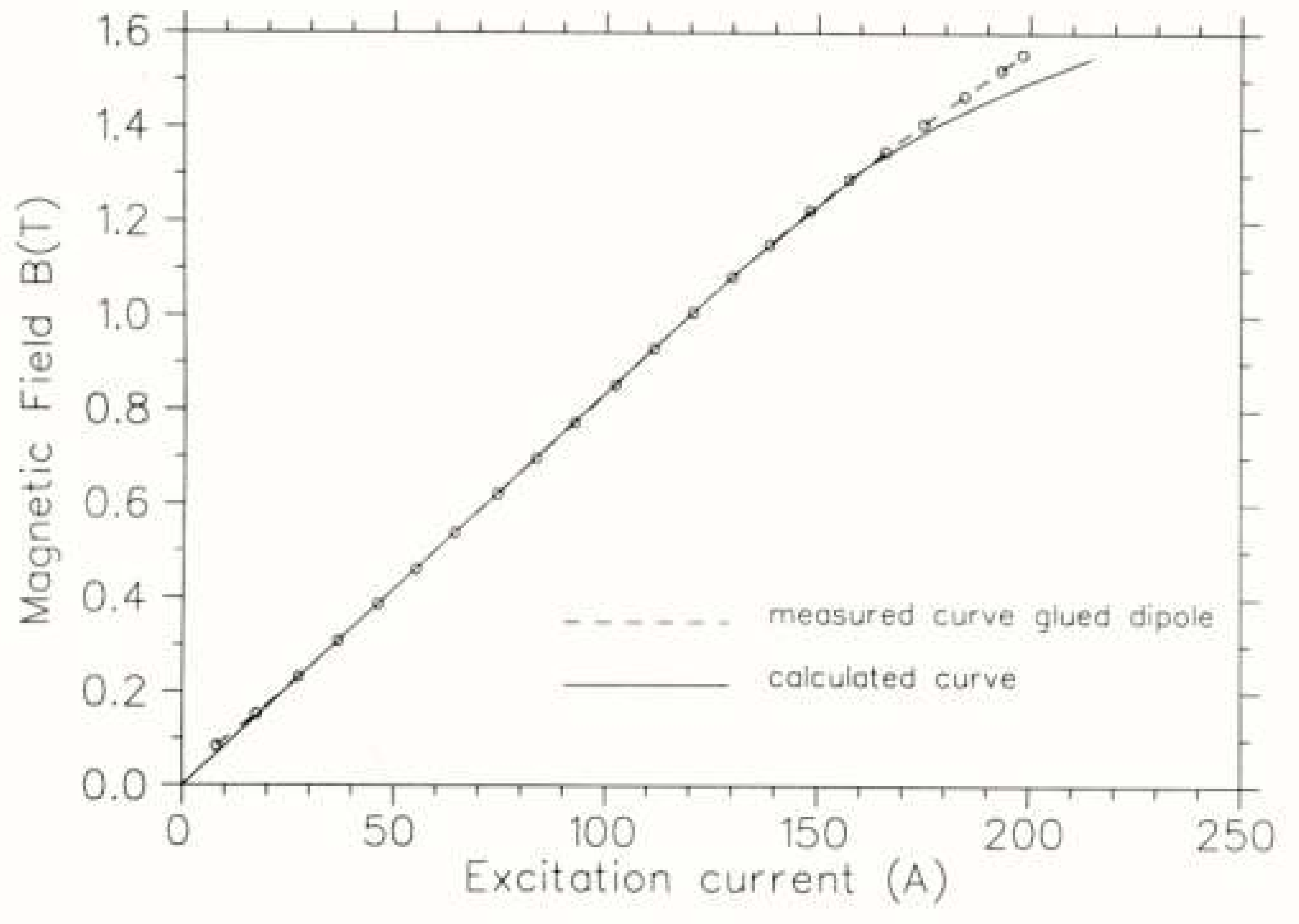
De spoelen welke boven en onder de luchtspleet aangebracht zijn bestaan ieder uit 84 windingen van holle koperen geleider die intern watergekoeld zijn.

De totale zelfinductie van de 2 spoelen die in serie geschakeld zijn bedraagt 102,8 mH en de weerstand is 167 mΩ.



Figuur 2.1. Opbouw en afmetingen in mm van een dipoolmagneet.

Figuur 2.2 geeft de magnetisch inductie als functie van de excitatiestroom. Voor het afbuigen van elektronen met een energie van 400 MeV is de benodigde magnetische inductie 1,35 T. [2]



Figuur 2.2. Magnetische inductie als functie van de excitatiestroom.

3 Probleemstelling

Ten behoeve van de dipolen voor de EUTERPE ring zijn voedingen nodig die aan de volgende eisen dienen te voldoen:

1) De stroom dient regelbaar te zijn vanaf 20 A tot tenminste 200 A.

2) De te leveren spanning bij 200 A dient per dipool tenminste 30 V te bedragen.

3) De relatieve drift van de stroom dient kleiner dan 10^{-5} te zijn, gemeten over een periode van 8 uur.

4) Er wordt geëist dat het verschil in magnetische inductie tussen de verschillende dipolen gerelateerd aan de gemiddelde magnetische inductie, niet méér dan 10^{-4} is.

5) Er wordt geëist dat het verschil in stroom tussen de verschillende dipolen gerelateerd aan de gemiddelde stroom, niet méér drift dan 10^{-5}.

4 Mogelijke Oplossingen

In deze paragraaf wordt een drietal mogelijke oplossingen besproken met hun diverse voor- en nadelen.

Methode 1 (zie figuur 3.1)
Plaats alle dipolen in serie. Bij 12 dipolen dient voeding een stroom van tenminste 200 A te kunnen leveren bij een spanning van tenminste 12 x 30 V = 360 V. Deze oplossing met één voeding heeft het volgende voordeel :

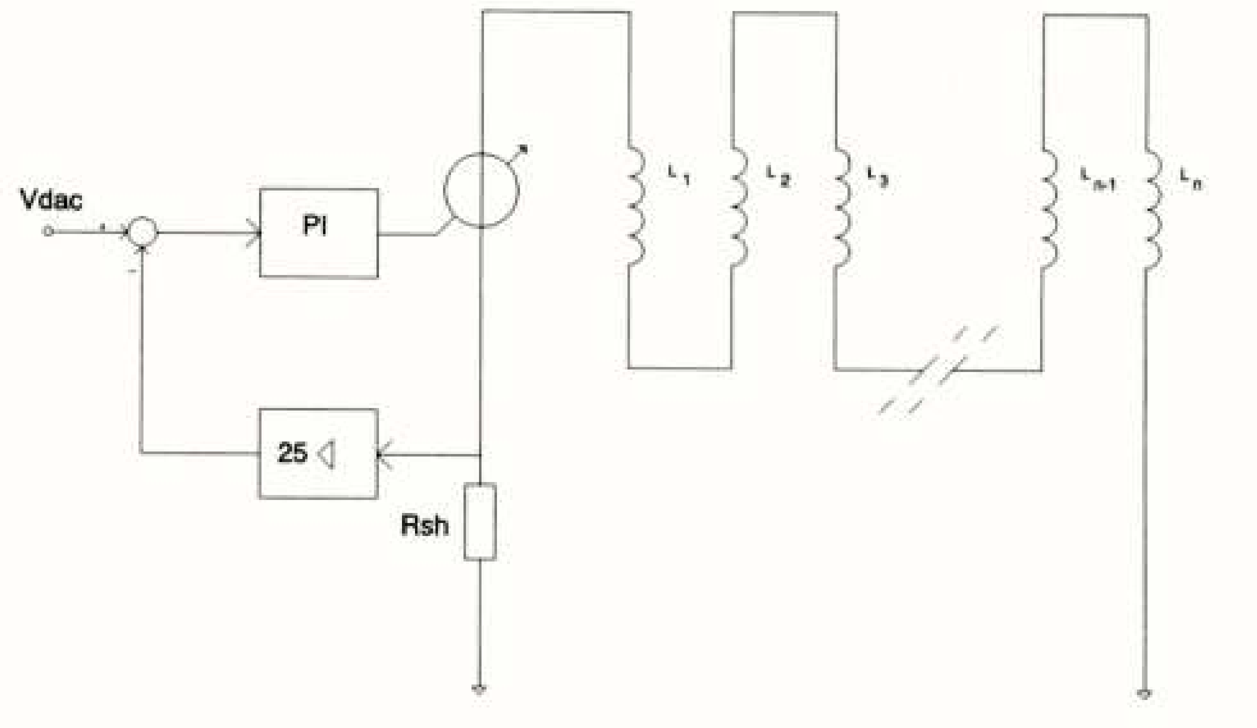
Door het gebruik van één voeding wordt een relatief hoge betrouwbaarheid cq. bedrijfszekerheid verkregen.
Nadelen:

a) De spanning aan de klemmen van een aantal dipolen is zo hoog dat tegen aanraking door personen beveiligd dient te worden. Dit dient te gebeuren volgens de wettelijke voorschriften.

b) De isolatie van de spoelen ten opzichte van de ijzeren dipoolconstructie, die geaard is, dient aan hoge eisen te voldoen.

c) Omdat de spoelen, bestaande uit holle koperen geleider, intern watergekoeld zijn kunnen onderlinge verschillen in de stroom ontstaan door lekstromen via het koelwater.

d) In geval van storing is een snelle reparatie nagenoeg uitgesloten. Een reserve voeding standby is dermate kostbaar, dat hieraan niet gedacht moet worden.



Figuur 3.1. Schema voor de dipolen met één voeding.

Methode 2 (zie figuur 3.2)

Voorzie elke dipool van tenminste één voeding van 200 A bij een spanning van tenminste 30 Volt.

Voordelen :

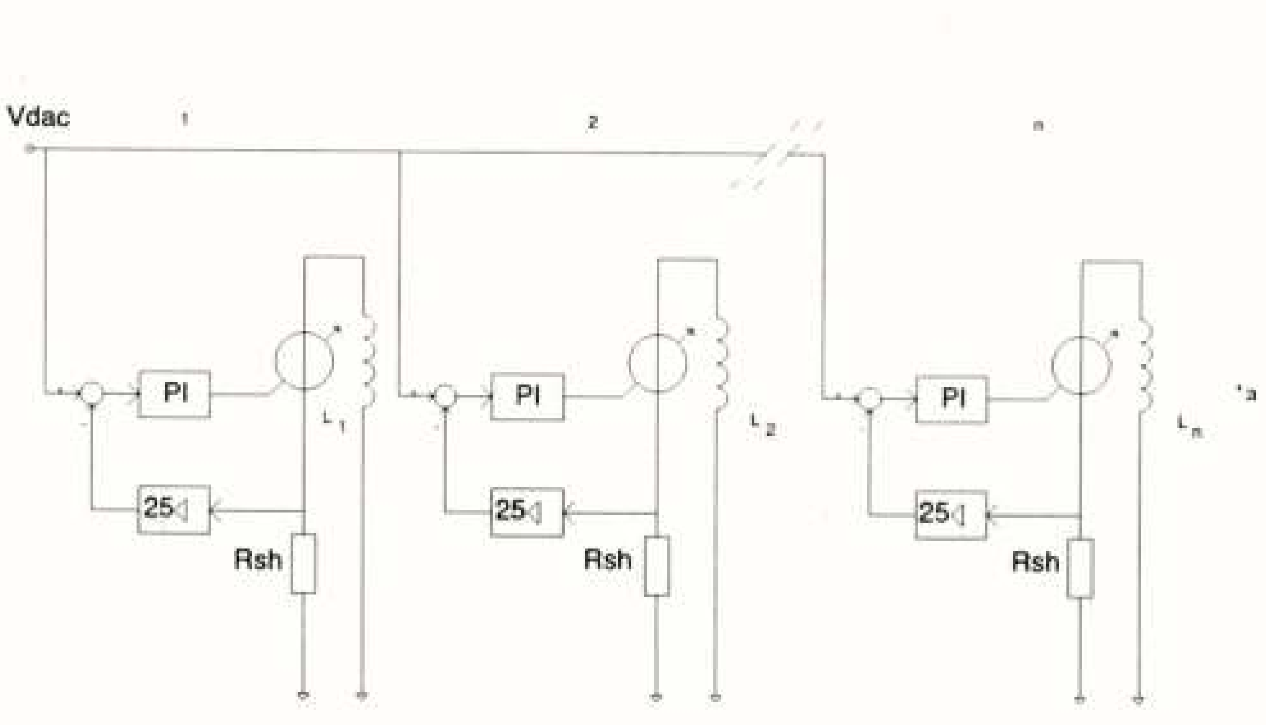
a) Lage spanning, geen aanrakingsgevaar en dus geen dure beschermingsmaatregelen nodig.

b) Lage lek, het verschil in lek is klein omdat alle spanningen gelijk zijn.

Nadelen :

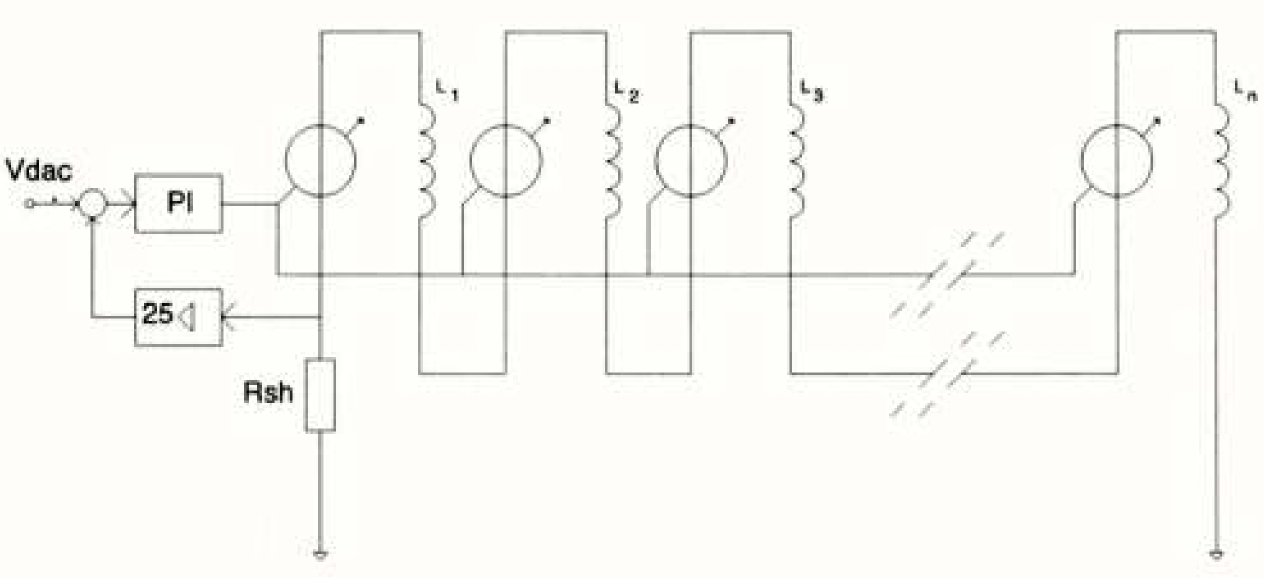
a) Het is moeilijk de stroom door de spoelen exact gelijk te houden, er zijn immers aparte regelingen nodig.

b) Het systeem is complex door de extra regelingen welke noodzakelijk zijn.



Figuur 3.2. Schema voor de dipolen bij gebruik van aparte voedingen per dipool.

Methode 3 (zie figuur 3.3)



Figuur 3.3. Schema van de dipolen met om en om n voedingen in serie.

Maak gebruik van *n* identieke regelbare voedingen van tenminste 200 A bij 30 V. Plaats deze in serie waarbij tussen elke 2 voedingen een dipool geplaatst wordt.

Voordelen:

a) De spanning is overal kleiner dan 30 V.

b) De stromen door de dipolen zijn op de lekstromen na gelijk (de dipolen staan in serie).

c) Het verschil in lekstroom is ca *n* keer kleiner dan bij methode 1.

d) Er is slechts 1 regeling nodig, wat een groot voordeel is ten opzichte van methode 2 (*n* regelingen).

e) Het verhelpen van een storing is eenvoudig. Het komt neer op het verwisselen van de kapotte voeding door een aanwezige reserve eenheid welke in tegenstelling tot methode 1 relatief goedkoop is.

Een extra voordeel is :

f) Omdat gebruik gemaakt kan worden van standaard voedingen is dit een economisch aantrekkelijke oplossing.

Nadeel :

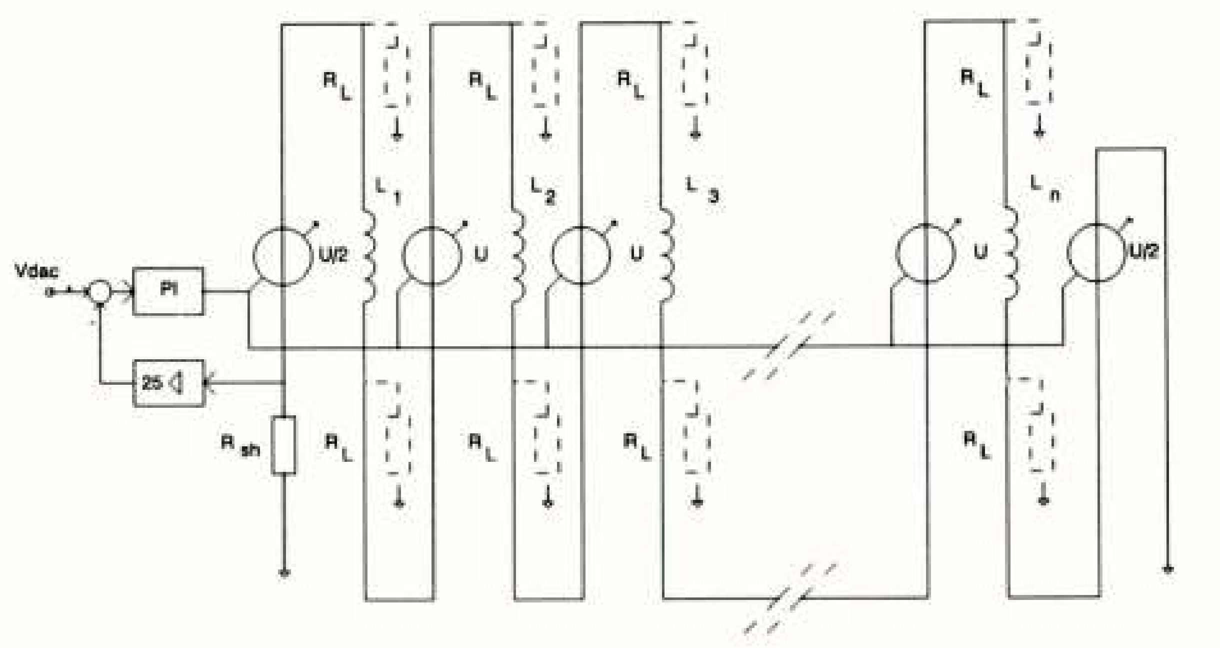
Met als uitgangspunt dat de individuele voedingen (groot of klein) een gelijke bedrijfszekerheid hebben, kan aangetoond worden dat bij gebruik van voedingen in serie de bedrijfszekerheid lager is dan bij gebruik van één grote voeding.

Er kan echter aangetoond worden [3] dat wanneer men de *n* voedingen overdimensioneert zodat de taak van een voeding die uitvalt wordt overgenomen door de overige n-1, de bedrijfszekerheid groter wordt dan bij gebruik van één voeding. Echter dienen dan parallel over de voedingen vrijloopdiodes aangebracht te worden, zodat de stroomkring niet onderbroken wordt.

Methode 4 (zie figuur 3.4)

Deze methode is een variant op methode 3. Echter staat 1 zijde van de spoel van de buigmagneten op een positieve potentiaal van ½ U ten opzichte van aarde, terwijl de andere zijde op een negatieve potentiaal van ½ U ten opzichte van aarde staat.

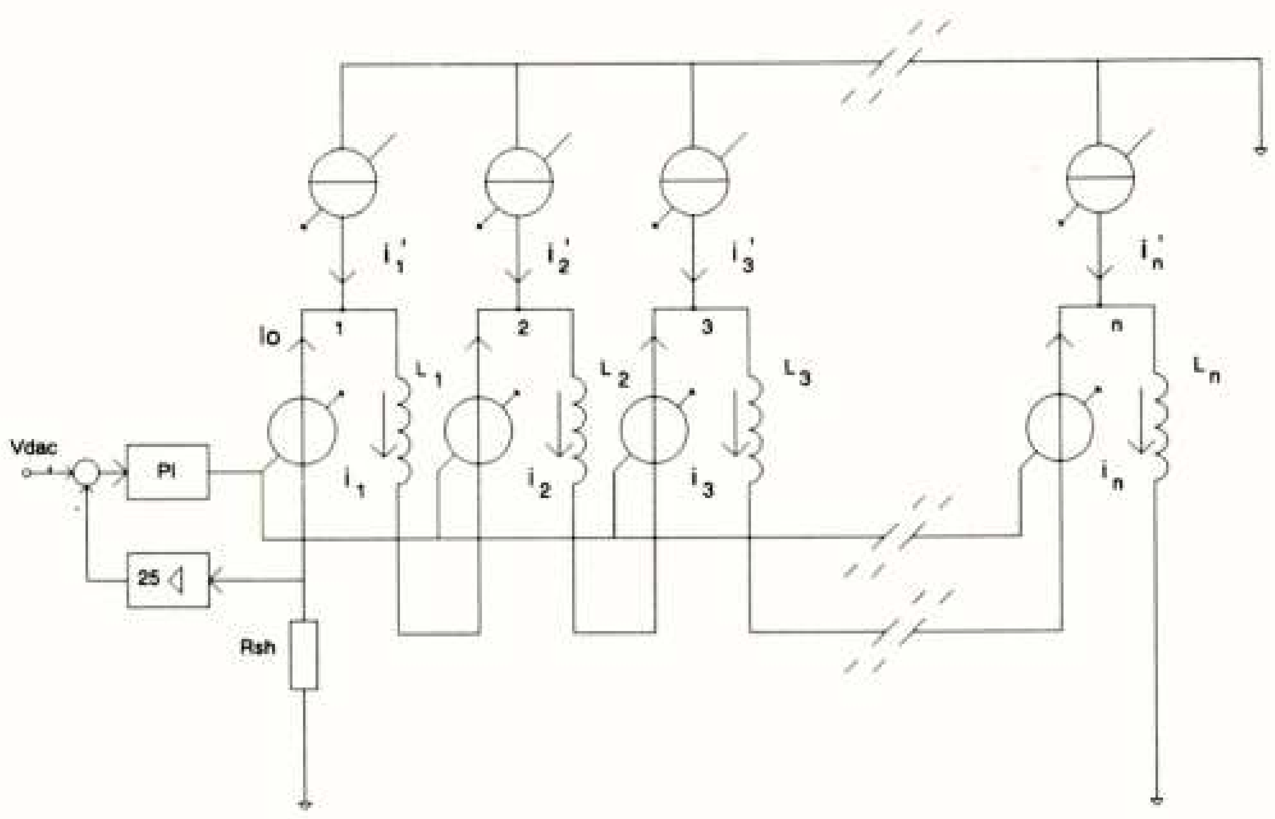
Het gevolg is dat de lekstromen die via het koelsysteem (met lekweerstand R_L) naar aarde lopen afwisselend positief en negatief zullen zijn.Hierdoor zullen de verschillen in excitatiestroom geringer zijn dan bij methode 3.



Figuur 3.4. Gedistribueerd voedingsysteem doch nu symmetrisch ten opzichte van aarde.

5 Individuele correctie dipolen

Omdat de diverse dipolen ten gevolge van temperatuursverschillen, lekstromen via het koelwater, mechanische toleranties, etc. kleine verschillen kunnen vertonen wordt gedacht aan de mogelijkheid om het magnetische veld in een dipool te corrigeren door de stroom door elke dipool te corrigeren met behulp van een kleine stroombron zoals in figuur 4.1 is aangegeven. In figuur 4.1 zijn alleen de correctiestromen i'_1, i'_2 etc. aangegeven. De totale stroom door dipool L_x wordt gegeven door $I_x=I_0 + i_x$.



Figuur 4.1. Schema van de dipolen in serie waarbij individuele correctie wordt toegepast.

Bij deze oplossing is echter het probleem dat bij correctie van de stroom door één dipool, de stroom door de daarop volgende dipolen mee zal veranderen. Het mooiste zou zijn dat voor elke dipool een aparte stuurvariabele U_n aanwezig zou zijn om de stroom in die dipool onafhankelijk van de rest in te kunnen stellen.

Uit het bovenstaande schema volgt dat

$$i_1 = i'_1,$$
$$i_2 = i'_1 + i'_2,$$
$$i_3 = i'_1 + i'_2 + i'_3,$$
$$\vdots$$
$$i_n = i'_1 + i'_2 + i'_3 + \ldots i'_n,$$

waarbij i'_n de corrigerende stroom voor de n[e] dipool is en i_n de <u>totale</u> corrigerende stroom door die dipool.

In matrixnotatie wordt dit geschreven als,

$$\underline{i} = A.\underline{i}', \qquad (1)$$

waarbij

$$\underline{i} = \begin{pmatrix} i_1 \\ i_2 \\ . \\ . \\ i_n \end{pmatrix} \text{ en } \underline{i}' = \begin{pmatrix} i_1' \\ i_2' \\ . \\ . \\ i_n' \end{pmatrix}, \qquad \textbf{(2 en 3)}$$

met de coëfficiëntenmatrix

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 & . & . & . & . & 0 \\ 1 & 1 & 0 & . & . & . & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . \\ 1 & 1 & 1 & 1 & . & . & 1 \end{pmatrix}. \qquad \textbf{(4)}$$

Stel dat

$$\underline{i}' = B \cdot \underline{u}, \qquad \textbf{(5)}$$

waarbij B de overgangsmatrix van $\underline{u}$ naar $\underline{i}'$ is en $\underline{u}$ de gewenste stuurvariabelen u_1 t/m u_n voorstelt, geschreven als

$$\underline{u} = \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \\ . \\ u_n \end{pmatrix}.$$

Nu volgt uit (1) en (5) dat

$$\underline{i} = A.B.\underline{u}.$$

Omdat u_k uitsluitend i_k (met $1 \leq k \leq n$) mag beïnvloeden, moet ervoor gezorgd worden dat

$$\underline{i} = \alpha.\ E.\ \underline{u},$$

waarbij E de n bij n eenheidsmatrix is en α een nader te bepalen scalar. Met de eigenschap dat $A.A^{-1}=E$, volgt dan dat

$$B = \alpha.A^{-1}.$$

Dit ingevuld in (5) geeft dan dat

$$\underline{i}' = \alpha.A^{-1}.\underline{u}. \qquad \textbf{(6)}$$

De inverse van A is

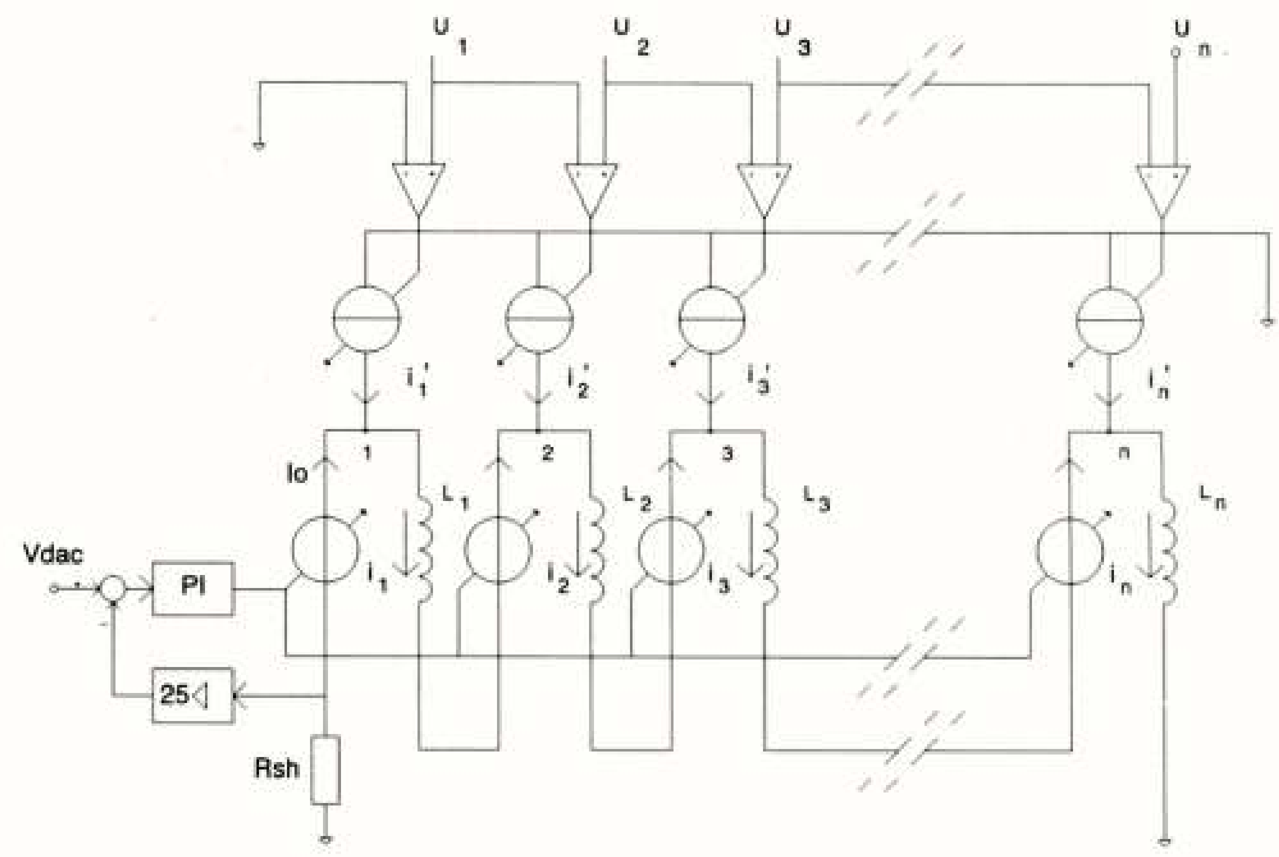
$$A^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & . & . & . & . & . & . & 0 \\ -1 & 1 & 0 & . & . & . & . & . & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & . & . & . & . & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & . & 0 & -1 & 1 \end{pmatrix}. \qquad \textbf{(7)}$$

Hieruit volgt dan dat

$$\begin{aligned} i_1' &= \alpha . u_1 , \\ i_2' &= \alpha (u_2 - u_1) , \\ &. \\ &. \\ &. \\ i_n' &= \alpha (u_n - u_{n-1}) \end{aligned} \qquad \textbf{(8)}$$

met α als een nog nader te bepalen parameter.

Figuur 4.2 geeft een mogelijke realisatie voor individuele correctie.



Figuur 4.2. Een mogelijke realisatie om de stroom door elke dipool individueel te corrigeren.

6 Stroommeting.

Zoals eerder in het eisenpakket is vermeld, dient de stroombron een stabiliteit van 10^{-5} over een periode van 8 uur te hebben.
Met andere woorden de relatieve stroomdrift $\Delta I/I$ mag in een periode van 8 uur maximaal 10^{-5} zijn. Dit heeft automatisch tot gevolg dat het stroommeetsysteem minstens dezelfde stabiliteit dient te hebben.

De stroom wordt gemeten met een meetshunt waar een spanning van 200 mV over staat bij een stroom van 200 A. Deze meetshunt heeft een stabiliteit van 2.10^{-5}/°C. De gemeten shuntspanning wordt 50 keer versterkt met een instrumentatieversterker die een ingangsdrift $\leq 10^{-6}$ V/°C vertoont. Hieruit kan geconcludeerd worden dat de drift aan de uitgang van de instrumentatieversterker overeenkomt met een equivalente drift van de stroom van

$(2.10^{-5}\ I + 10^{-3})$ $A/^oC$

Verder kan geconcludeerd worden dat het gewenst is het meetsysteem (de meetshunt en daarbij behorende apparatuur) in een thermostaat te plaatsen met een temperatuursstabiliteit van 0,4 [°C]. Deze temperatuurseis kan relatief eenvoudig gerealiseerd worden.

7 Stroomstabilisatie

Teneinde de stroom te stabiliseren is het gewenst het dynamisch verband tussen spanning en stroom na te gaan.
Wanneer we parasitaire effecten verwaarlozen vinden we bij n in serie geplaatste spanningsbronnen en n in serie geplaatste spoelen (met weerstand en zelfinductie)

$$I(\omega) = \frac{nU(\omega)}{nj\omega L + nR} = \frac{U(\omega)}{R} \cdot \frac{1}{1 + j\omega\frac{L}{R}},$$

waarin: $\dfrac{L}{R} = \tau_1 .$

Uit metingen aan het prototype van de dipoolmagneet is gebleken dat $\tau_1 = 0.62s$.

Een tweede tijdconstante τ_2 komt voort uit het dynamische verband tussen de aanstuurspanning en de uitgangsspanning van de n voedingen. Deze tijdconstante bedraagt ongeveer 3 ms. Wat betreft de

parasitaire effecten kunnen we opmerken dat de ijzerverliezen geen rol van betekenis spelen omdat het juk uit gelamelleerd ijzer bestaat. Capacitaire overspraak tussen de windingen speelt pas een rol van betekenis boven 20 kHz. Door het aanbrengen van een filter in de tegenkoppellus kan dit effekt gecompenseerd worden en daarmede parasitaire oscillatie vermeden worden. Door nu de integratietijd-constante van de PI regelaar (zie fig. 4.2) gelijk te kiezen aan τ_1 en de proportionele versterking zo in te stellen dat de rondgaande versterking gelijk is aan $\frac{\tau_1}{2\tau_2}$ zal het geregelde proces zich gedragen als een kritisch gedempt 2e orde systeem (dempingfactor $\frac{1}{2}\sqrt{2}$)

8 Eind Conclusie

Het gebruik van één gedistribueerd voedingssysteem combineert de gunstige eigenschappen van één enkel voedingssysteem met die van aparte voedingen, nl:

1) De stroom de dipolen is gelijk

2) De spanning is laag

3) De lekstroom is laag

4) De betrouwbaarheid is hoog (bij 10% overdimensionering)

5) De reparatietijd is kort door modulaire opbouw

6) Economisch is het een aantrekkelijke oplossing

7) De stabilisatie is relatief eenvoudig

11 Referenties

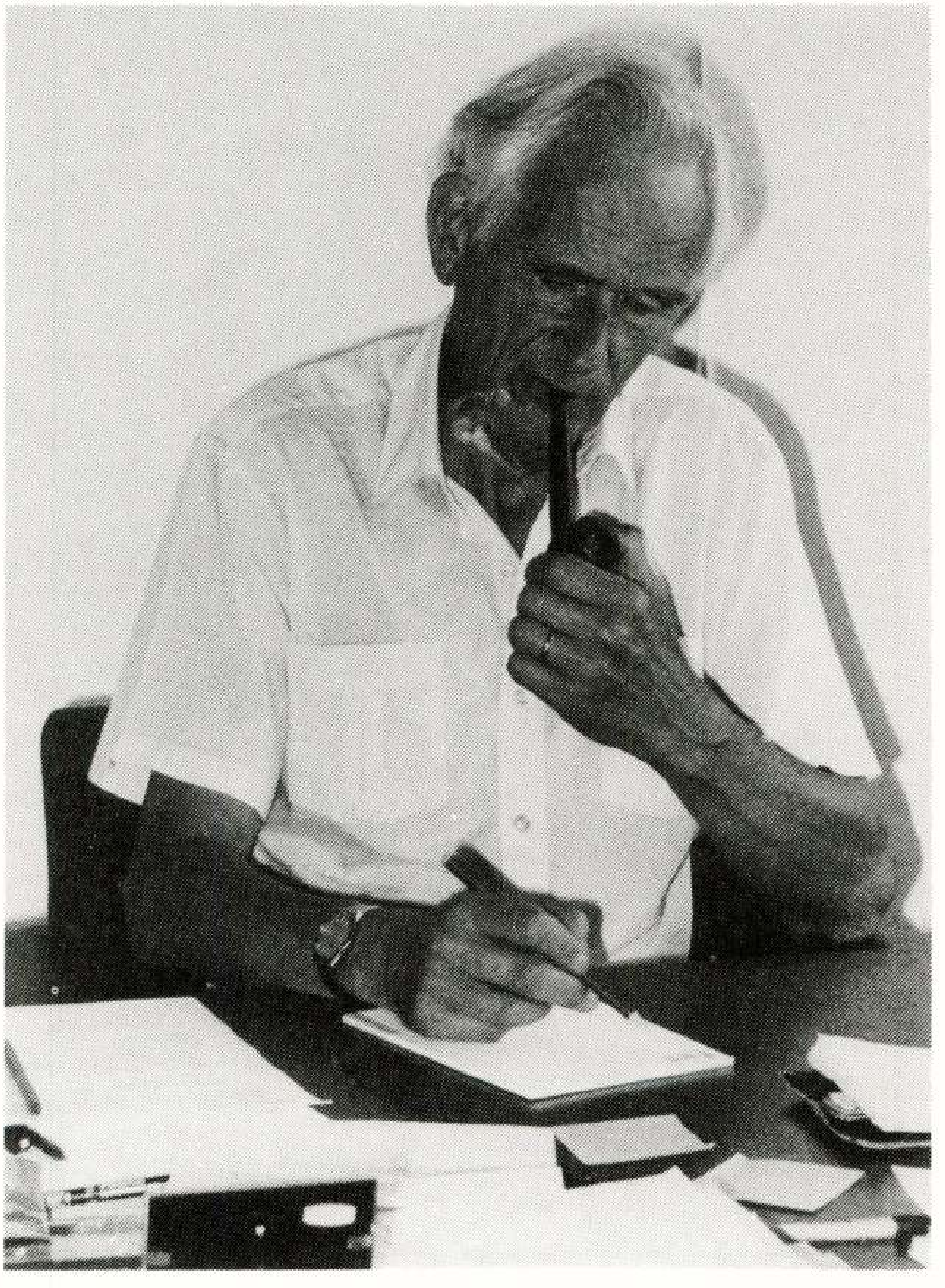
[1] Dr. J.I.M. Botman en dr. ir. C.J. Timmermans, "Accelerators in the TUE cyclotron building", in dit blad.

[2] A.T.A.M. Derksen, "Field measurements of the prototype EUTERPE dipole and related electron optical studies". Intern rapport VDF/NK 93.33

[3] A.H. Kemper en R. Verseijden, "Ontwerpoverwegingen voeding afbuigmagneten voor elektronenopslagring EUTERPE". Intern rapport VDF/NK 94.43

Voordracht gehouden gedurende de 426e werkvergadering

Bij het afscheid van prof.dr.ir. J. Davidse als hoogleraar Elektronica van de Technische Universiteit Delft.



Op 9 september 1994 nam prof.dr.ir. J. Davidse afscheid van de Technische Universiteit, van de Faculteit der Elektrotechniek en van zijn vakgroep Elektronica.
Het programma van die dag bevatte naast het officiële gedeelte ook een colloquium waarin een aantal prominente sprekers aan het woord kwam, namelijk:

- ir. C. Wissenburgh, medewerker vakgroep Elektronica,
- prof.dr.ir. P.M. Dewilde, directeur DIMES (Delft Institute of Microelectronics and Submicrontechnology),
- dr. C. Le Pair, directeur STW (Stichting Technische Wetenschappen),
- dr.ir. K. Teer, oud-directeur Philips Nat.Lab.

Het organiserend comité van de vakgroep Elektronica is er in geslaagd de teksten van die toespraken bijeen te brengen en toestemming voor publicatie te verkrijgen.
De redactie heeft verondersteld dat deze teksten, hoewel zeer persoonlijk tot prof. Davidse gericht, ook voor de lezers van dit tijdschrift interessant zijn, niet in het minst vanwege de bijzondere relatie tussen prof. Davidse en het NERG: oud-voorzitter en erelid van ons genootschap.

De redactie.

Toespraak afscheid prof. Davidse op 9 sept. 1994

door ir. C. Wissenburgh, namens de vakgroep Elektronica.

"Elektronica is het vak van de toekomst" was vroeger een veel gehoord adagium. Aan die toekomst heeft Jan Davidse als hoogleraar ruwweg 10 kilodagen mogen meewerken. Nu zou men kunnen tegenwerpen: is dat niet wat overdreven? 30 jaar à 200 werkdagen = 6000 dagen en geen 10.000. In de eerste plaats weten wij - Jan's naaste medewerkers - dat hij zich vrijwel dagelijks met het vak bezig hield en ten tweede vind ik 10k een markant getal. Velen van de aanwezigen hier zullen zich namelijk herinneren dat er bij het dimensioneren van discrete transistorschakelingen een grote voorkeur bleek te bestaan voor het gebruik van 10kΩ weerstanden. De werkvoorraad daarvan was tenminste steeds als eerste uitgeput. 10k dagen elektronica dus.

Een terugblik is op een dag als vandaag zeker op zijn plaats, te meer daar die ons leert hoe wij op weg zijn geweest naar die beoogde toekomst.

Ik beschouw het dan ook als een eer hier vandaag namens de vakgroep een aantal feiten en meningen uit de 30-jarige relatie van Jan Davidse met het laboratorium te mogen memoreren. 30 jaar in minder dan 30 minuten. Dat impliceert of een extreme compressie of het nemen van enkele samples die helaas niet aan het Nyquist criterium zullen voldoen. Voor dat laatste heb ik gekozen.

Welnu, laten we in ieder geval bij het begin beginnen.

In juni 1964 kreeg het Laboratorium voor Elektronica een nieuwe nog jonge hoogleraar in de persoon van Jan Davidse. Er was een vacature ontstaan door het vertrek van prof. Breedveld naar de toen nog piepjonge Universiteit Twente. Voor velen uit het lab was de nieuwe "baas" een verrassing, want het was in die dagen verre van gebruikelijk hoogleraren te werven door middel van een advertentiecampagne; evenmin dat personeel (niet-hoogleraren) - laat staan studenten - een rol speelden in een benoemingsprocedure. Niettemin bleek men in die dagen tot een goede keuze te kunnen komen. Dat kunnen we nu wel zeggen.

Dat Davidse een "leermeester" is in de klassieke betekenis van het woord, bleek al spoedig. Mede gestimuleerd door de omstandigheden - de transistoren waren onstuitbaar in opmars - werden door hem nieuwe collegediktaten geconcipieerd. Ze zijn hier vandaag nog ter inzage. Met groot enthousiasme gaf hij zijn colleges. En dat is 30 jaar zo gebleven. Een pure uiting van de eigen beleving van het vakgebied.



Beeld 1. College van Davidse

Hier wordt U een blik gegund in de voor de ouderen onder U destijds zo bekende collegezaal beta aan de Kanaalweg. Daar is nog wel iets bij op te merken:

Door het in die dagen nog exclusieve gebruik van bord en krijt was de docent wat minder plaats gebonden, dan bij de huidige wijze van presenteren met behulp van de overhead projector het geval is. Het begrip mobiliteit werd door Davidse aldoende onbewust op plastische wijze gedemonstreerd. Bij het versneld weergeven van een in die tijd gemaakte video-opname leek het optreden volgens sommigen ook een goede illustratie van de Brownse beweging. Kortom, het college was een dynamisch gebeuren.

Dat de didactische kwaliteiten van Davidse ook buiten de toenmalige Afdeling der Elektrotechniek niet onopgemerkt bleven, bleek uit het hem gedane verzoek om een bijdrag te leveren aan de toentertijd actuele Prisma-Technica reeks. Een low-budget uitgave van de Delftse collegestof, die tevens een verspreiding in een ruimere kring - met name ook op de HTS'en - zou toelaten, was voor Jan een grote uitdaging. Onder het motto "Le travail est souvent le père du plaisir" toog hij aan het werk en zo verschenen in de jaren 69-70 de alom bekende vier delen "Grondslagen van de Elektronica". Ze waren geschreven in een typische "conversational style" en zodoende te lezen als een spannende roman. De latere publicaties mede in beschouwing genomen, kunnen we nu spreken van de zeer herkenbare "Davidse stijl".

Uniek en kenmerkend voor Jan's levensbeschouwing is de opmerking in de Inleiding van deel 1 uit de Prisma-reeks (althans vanaf de 3e druk), die ik hier citeer:

Vele door de elektronica mogelijk gemaakte technische ontwikkelingen hebben een verstrekkende maatschappelijke invloed (radio, televisie, computers, automatisering, ruimtetechniek, militaire systemen). De informatietechnicus draagt daardoor een grote maatschappelijke verantwoordelijkheid, die hij zich lange tijd te weinig bewust is geweest. Het inzicht dat de technicus zich niet mag onttrekken aan de maatschappelijke consequenties van zijn werk, doch integendeel hierop een richtingbepalende invloed moet ontwikkelen, wint terrein. Het is te hopen dat juist mensen met een groot maatschappelijk verantwoordelijkheidsbesef zich zullen ontwikkelen tot vooraanstaande technici. Zij zullen in staat zijn het noodzakelijke tegenwicht te vormen tegen negatieve toepassingen van het technisch kunnen.

Einde citaat.

Genoemde reeks heeft vele - uiteraard steeds herziene - herdrukken mogen beleven.

Dat Jan zich voor zijn hoogleraarschap intensief met de videotechniek had bezig gehouden, leidde tot het specifieke en unieke college "Elektronische beeldtechniek", dat door hem ruim 25 jaar is gegeven en door een voortdurende actualisering ("oude liefde roest niet") door vele generaties studenten hogelijk gewaardeerd is. In 1973 verscheen hiervan eveneeens een boek in de Prisma reeks.

Het schrijven scheen Jan even gemakkelijk af te gaan als de verbale vertolking van de stof. Ik herinner mij de conceptie van een diktaat: één dag schrijven thuis betekende voor de secretaresse circa drie dagen typewerk.
Om nog even bij de studieboeken te blijven: In de loop der jaren zijn er nog vele aan toegevoegd, steeds actueel wat betreft de inzichten en de stand der technologie en van een hoog didactische gehalte. Ik noem ze:

1979 Integration of Analog Circuits (verschenen bij Academic Press)
1982 Elektronische versterkers en Phaselock loop bij de DUM. Een herziene versie van deel 3 uit de inmiddels niet meer bestaande Prisma -Technica reeks.
In 1991 verscheen hiervan een geheel herziene en uitgebreide versie onder de titel
"Analoge signaalbewerkingstechniek"
In hetzelfde jaar verscheen bij Prentice Hall
"Analog Electronic Circuit Design".
In 1992 zag een geheel aan de stand van de techniek aangepast boek "Televisietechniek en beeldversterking" het licht. Dit ter vervanging van de oorspronkelijke Prisma uitgave.
Tenslotte - we hebben het nog steeds uitsluitend over cursusmateriaal - heeft Jan belangrijke bijdragen geleverd aan post-academische cursussen over ruis en over phaselock loops.
Overzien we de colleges boeken en diktaten - en dat kunt U hier vandaag letterlijk doen - , dan valt op dat Davidse beslist geen voorstander is van het gebruik van wiskunde als dat voor het betoog niet strikt noodzakelijk is. Hij geeft dit zelf in het voorwoord soms ook aan. Dat wil niet zeggen dat hij een adequate kennis van de wiskunde niet van belang zou achten - integendeel. Hij heeft echter altijd de nadruk gelegd op fysische principes die ten grondslag liggen aan elektronische toepassingen en vooral de aandacht gevestigd op fundamentele begrenzingen. Hij heeft daarmee steeds willen aangeven dat het de taak van de ingenieur is, de weerbarstige materie de baas te worden. Velen van U zullen het met mij eens zijn, dat hij daar door zijn uitzonderlijke didactische gaven zeer goed in geslaagd is.

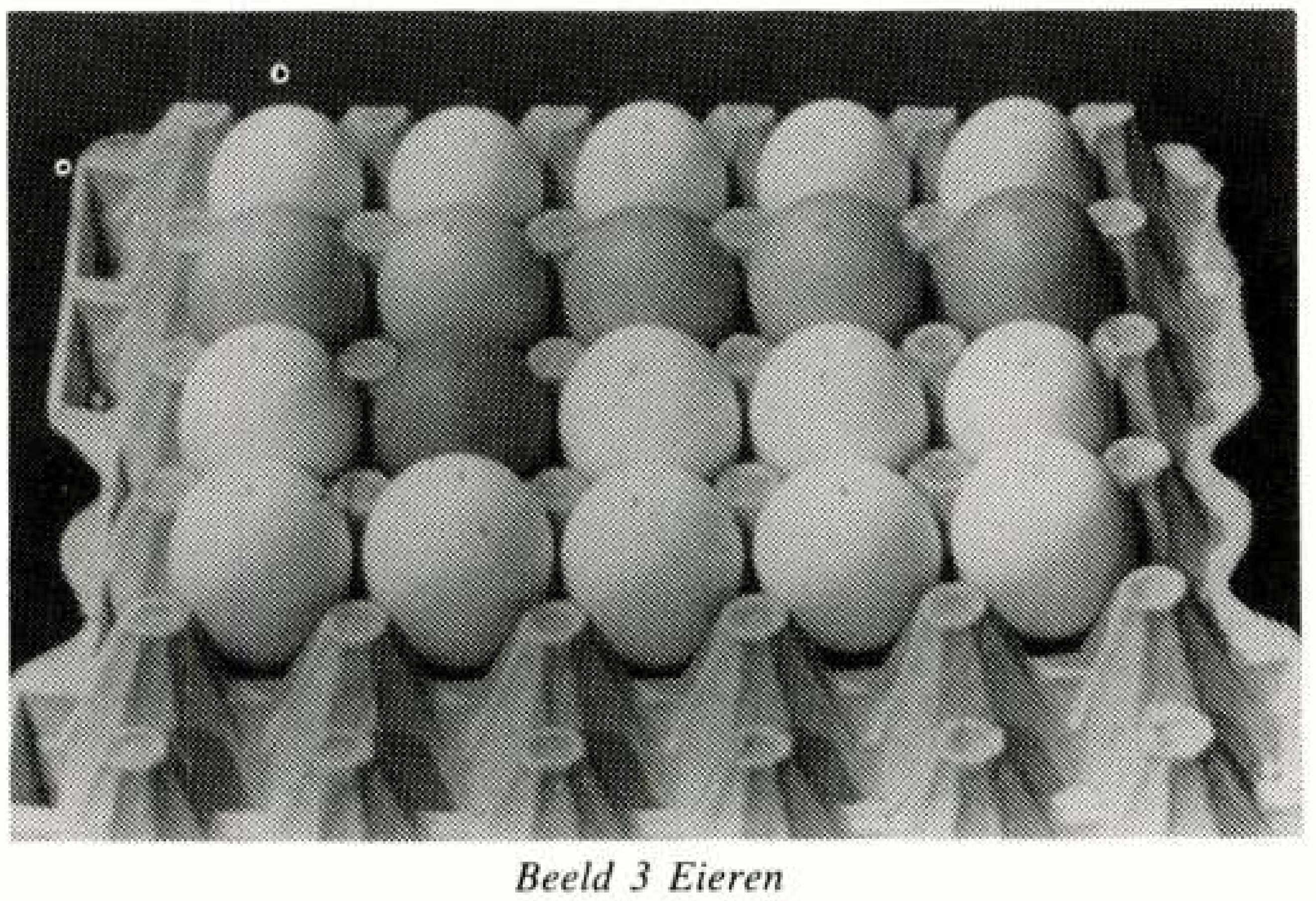
Ik wil nu graag enige aandacht besteden aan het onderzoek op het laboratorium.
Het is de taak van een universiteit - en dat gold ook voor de toenmalige TH - zich bezig te houden met zowel onderwijs als onderzoek. Goed onderzoek is immers een substraat voor goed onderwijs. En omgekeerd.
Men kan zeggen - hoewel men altijd voorzichtig moet zijn met zulke uitspraken - dat de elektronica in de achter ons liggende 30 jaar tot volle wasdom is gekomen. In wisselwerking met de technologie is het ontwerpen van elektronische schakelingen gerijpt van een kunst tot een kunde en uitgegroeid tot een fundamentele wetenschap. De vakgroep houdt zich er vooral de laatste 15 jaar intensief mee bezig. Het grote aantal promoties bij Davidse - een dertigtal - getuigt daarvan; hij is daarmee op het ogenblik de meest productieve promotor van de universiteit.
In de afgelopen 30 jaar hebben zo'n 400 studenten hun afstudeerwerk op het Laboratorium van Elektronica verricht, waarbij de onderwerpen zeer uiteenlopend van aard waren. Jan liet overigens de vaste staf alle ruimte wat de keuze van de onderwerpen betreft. Het zal U echter niet verbazen dat vooral in de begintijd de videotechniek dikwijls als kapstok fungeerde. Daarbij ging het zowel om puur technische schakelingproblemen als om toepassingen, vooral die in de medische diagnostiek. Dat laatste sloot geheel aan bij Jan's overtuiging dat wetenschap en techniek in de maatschappij een dienende taak ("ein Sitz im Leben") behoren te hebben.
Enkele aansprekende voorbeelden uit die tijd - U zult begrijpen dat het ondoenlijk is volledig te zijn:
In de medische diagnostiek bestond de behoefte om kleine veranderingen in huidskleur, samenhangend met de perifere doorbloeding, beter te kunnen vaststellen dan het kleuronderscheidend vermogen van het oog toelaat. Dankzij het opmerkelijke feit dat het bereik van de huidskleur voor alle rassen en omstandigheden verrassend beperkt blijkt te zijn, waren er mogelijkheden om door middel van videotechniek deze kleuren te expanderen, dat wil zeggen uit te smeren over een groter kleurbereik. De bruikbaarheid van deze methode is in nauwe samenwerking met de medische professie uitgebreid onderzocht.
In diezelfde tijd is ook gewerkt aan de waarneembaarheid van uiterst geringe contrast verschillen (verschil in grijstinten) zoals die voorkomen in medische röntgenbeelden. De oplossing werd gevonden door in het te beschouwen gebied de aan elkaar grenzende helderheidsniveaus om te zetten in aan elkaar grenzende kleurschakeringen. Patronen bleven zodoende herkenbaar en de mogelijkheden van het oog werden volledig uitgebuit.



Beeld 2 Hartcontourdetectie

Een ander project waaraan velen in hun afstudeerperiode - en sommigen nog lang daarna - hebben meegewerkt, was de hartcontourdetectie. Het ging hier om de "real-time" bepaling van de begrenzing van de linkerhartkamer in een zgn. ventrikel-angiogram. Dat is een röntgenbeeld. Vanwege het geringe contrast en de sterk variërende helderheid was het handmatig vaststellen van de contour moeilijk en tijdrovend, zodat er behoefte bestond aan een betere en snellere methode. In die tijd behoorde een digitale "on-line" bewerking van de beelden, gezien de grote omvang van het informatiebestand niet tot de reële mogelijkheden. Het beeld brengt tevens de wijze waarop in die tijd experimentele systemen werden gerealiseerd in de herinnering. Vandaag de dag is het bezit van een grote typevaardigheid een pré bij het onderzoek.
Intussen werden door anderen bij hun afstuderen de mogelijkheden van nieuwe devices onderzocht, zoals veldeffectcomponenten en carrier domain devices.
Een ander belangrijk onderzoeksgebied betrof radiosystemen. Daar is door velen uitstekend werk aan verricht. Het heeft met name in het laatste decennium een aantal uitnemende proefschriften opgeleverd.

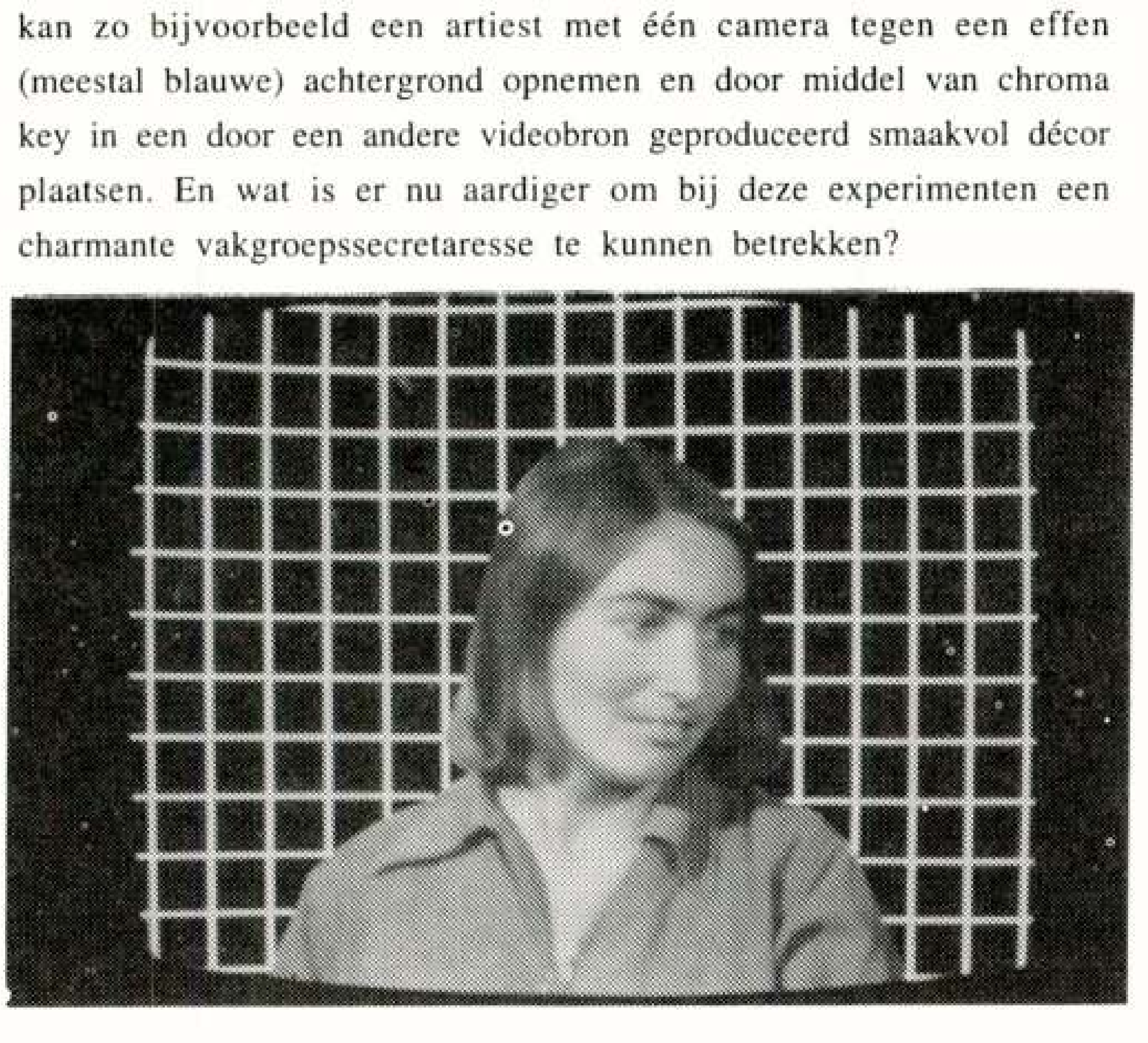
Steeds weer speelden de al eerder genoemde fysische begrenzingen een cruciale rol, vooral de ruis. Een systematische aanpak van het ruisprobleem heeft tenslotte het resultaat opgeleverd, dat kennis van het gestructureerd ontwerpen van ruisarme versterkers tegenwoordig tot de vaste bagage behoort waarmee onze studenten worden uitgerust.



Beeld 3 Eieren

Dit beeld dat meer bestemd lijkt voor een congres van pluimveehouders, zal bij een aantal van U de herinnering oproepen aan een systeem waarbij de theoretisch beschikbare dynamiek ten volle moest worden benut. Het betreft hier de detectie van bloed in consumptie-eieren. Hoewel in principe onschuldig, blijkt de omvang van het bekende bloeddruppeltje door de consument als kwaliteitsparameter te worden gezien. Omdat bij het zogenaamde "schouwen" (het met het oog keuren) te veel fouten optraden, werd gezocht naar een betrouwbaarder oplossing. Deze werd gevonden op basis van selectieve absorptie van licht door haemoglobine. De grote dynamiek in absolute absorptie (witte/bruine eieren) stelde extreme eisen, waaraan echter kon worden voldaan. Het grote knelpunt tenslotte bleek de mechanische behandeling van de te keuren eieren!

Een video-onderwerp waaraan destijds veel genoegen is beleefd en dat nog steeds toepassing vindt , was de verbetering van het zogeheten "chroma keyen". Dit is de methode om op basis van kleurinformatie in een scène om te schakelen naar een andere scène. Men kan zo bijvoorbeeld een artiest met één camera tegen een effen (meestal blauwe) achtergrond opnemen en door middel van chroma key in een door een andere videobron geproduceerd smaakvol décor plaatsen. En wat is er nu aardiger om bij deze experimenten een charmante vakgroepssecretaresse te kunnen betrekken?



Beeld 4. Hilda/crossed lines

Het décor, de zogenaamde "crossed lines", is hier helaas nogal prozaïsch.

Naarmate de techniek van de geïntegreerde schakelingen meer deel ging uitmaken van onderwijs en onderzoek, raakte Jan steeds meer overtuigd van de noodzaak om binnen de muren van de universiteit over de technologie te kunnen beschikken. Bij de totstandkoming van het toenmalige ic-atelier (we spreken over 1974-1975) heeft hij een bezielende rol gespeeld, evenals later bij ons instituut Dimes. (Dat zal later op de ochtend nog ter sprake komen).

Sinds die tijd heeft veel van het onderzoek op het lab zich vooral toegespitst op het realiseren van analoge signaalbewerkingsfuncties in de vorm van geïntegreerde schakelingen. Voorts kreeg men ook een ander zicht op de aanvankelijk slechts als hinderlijk ervaren thermische effecten in transistoren. De transistor als temperatuur sensor kwam in beeld en is de start geweest van de huidige succesvolle activiteiten op het gebied van intelligente sensoren.

In het begin van de tachtiger jaren werd het de vakgroep ook steeds duidelijker dat een "back to basics" noodzakelijk was geworden. De aandacht werd gericht op het gestructureerd hiërarchisch ontwerpen van basisfuncties - een noodzakelijke aanpak om te kunnen komen tot het ultime doel: een door een computerprogramma geleid ontwerpproces. U begrijpt dat daarmee de eerder genoemde 10kΩ weerstand in een geheel ander daglicht kwam te staan.

Waar de vakgroep vandaag de dag staat in het onderzoeksveld, kunt U gewaarworden uit de zojuist verschenen vakgroepsbrochure en de hier vandaag geëxposeerde posters.

Met betrekking tot de relatie van Jan Davidse tot het laboratorium en de studenten hebben we het gehad over het onderwijs en het onderzoek. Ik wil het tenslotte hebben over de mens Jan Davidse zoals wij hem in de loop der jaren hebben leren kennen. Het spijt mij Jan, op een dag als vandaag is zulks onontkoombaar.

Allereerst moet gezegd worden dat de belangstelling die Jan altijd toont voor medewerkers en studenten in de eerste plaats hun menszijn betreft. Naast de wetenschappelijke begeleiding heeft hij vele studenten aangemoedigd als zij tijdens het afstuderen dreigden te stranden. Ondanks een volle agenda wist hij altijd ruimte te vinden voor een rustig gesprek (van welke aard dan ook), waarbij men nooit het gevoel had op de schopstoel te zitten. Het kwam daarbij wél nogal eens voor dat men achteraf tot de conclusie kwam dat men zich voornamelijk tot luisteren had beperkt. Maar boeiend was het wel geweest.

Jan is een zeer gedisciplineerd mens . Ik kan het mis hebben, maar uit mijn observaties heb ik de conclusie getrokken dat hij met zichzelf had afgesproken s'morgens niet voor half elf een pijp op te steken. Vanaf circa kwart over tien hield hij daarom - niet onopgemerkt dus - de tijd goed in de gaten, om op het juiste moment toe te kunnen slaan.

Jan Davidse is gek op appelgebak, dat is in de tracteercultuur van het lab wel duidelijk geworden. Maar hij tracteerde ons ook vaak. Bij vele gelegenheden hebben wij mogen genieten van zijn ongeëvenaarde spirituele toespraken.

Hoewel geen uitgesproken Bourgondiër, heeft Jan altijd gehecht aan evenementen met een sociaal karakter, zoals bijvoorbeeld, wat men officieel noemt, de "dienstdag buiten door te brengen". Sportieve prestaties bleven daarbij niet uit . Jan is een goed zwemmer, maar moest tot zijn verrassing bij een van die gelegenheden in secretaresse Hilda zijn meerdere erkennen.



Beeld 5. Op de fiets

Soms ging de vakgroep een dagje fietsen. Achteraf blijkt dat tot de mindere bekwaamheden van Jan te behoren. Door een onfortuinlijke manoeuvre op een smalle dijk is hij eens tot het middel te water geraakt. Nu was het die dag nogal regenachtig, dus waar het water vandaan kwam deed er op den duur weinig meer toe. Recentelijk ging het echt mis, maar gelukkig, Jan, ben je weer vrijwel hersteld van wat je zelf een mechanisch defect pleegt te noemen.
Jan, in al die jaren dat we je hebben meegemaakt, heb je blijk gegeven van een ongekend arbeidsethos. Je was gelukkig gezond, maar toch. Je was er altijd, hoe dan ook. Diepe bewondering hebben we gehad voor de voor velen van ons onvoorstelbare wijze, waarop je een zowel fysiek als mentaal uiterst belastende periode in je leven hebt doorstaan: die van de ziekte en het tenslotte overlijden van Lidy je vrouw, nu al weer ruim 10 jaar geleden. Je had de kracht om, zowel degenen die er weet van hadden als de overigen, er in de professionele omgang weinig van te laten merken. Je wilde niet zelf een belasting voor je omgeving zijn.

Het leven ging voor jou echter door en je hebt je met volle overgave gewijd aan je professie. Tot op de dag van vandaag.
Ik denk dat we Jan Davidse heel kort kunnen typeren met: "Le style c'est l'homme".

Jan Davidse Wetenschapper en Administrator

P. Dewilde

Ik wil de emotie niet verbergen die het neerleggen van je ambt op deze Fakulteit bij mij teweeg brengt. Aan onze vriendschap komt zeker geen einde, maar we zullen je hard missen als de steeds alerte, steeds bereide, steeds actieve hoogleraar en bestuurder die meer dan wie ook de micro-elektronica in Delft belichaamde. Jij was de bron van onze zekerheden, bij jou vonden we de energie om verder te gaan, jij was de wijze raadgever die voor vele onmogelijke situaties een plausibel antwoord wist. Recentelijk nog werden we geconfronteerd met de boze buitenwereld in de vorm van het 'HOOP94' rapport van het Ministerie van Onderwijs en Wetenschappen. De basis van het rapport was ongeveer zo: aangezien in Nederland de industrie geen chips meer maakt, is het ook niet meer nodig nog ingenieurs in de Micro-elektronica op te leiden, zodat de voor dat vakgebied gebruikte fondsen beter naar andere disciplines, met name naar de met 'informatica'gelijkgestelde 'informatietechniek' kunnen vloeien. Deze parel van ministerieel inzicht in onze industrie werd door jou gevist uit de enorme hoeveelheid folders, directieven, jaarverslagen, evaluatierapporten, visitatie directieven, aankondigingen, formulieren, enquêtes etc... die je tafel bereikten, en je trad meteen in actie. Een mooi staaltje apologische redigeerkunst kwam uit je pen, en de diverse politieke touwtjes die je bedienen kon werden geactiveerd. Ik werd al snel q.q. bij de actie betrokken, en we bevonden ons in de situatie waar we met verve ons vak konden verdedigen - zo'n mooie gelegenheid moet je natuurlijk nooit laten voorbij gaan. Wat Jan toen schreef (gericht aan dr. ir. P.C.W. Sommen, secretaris E-kamer, Eindhoven):

Geachte Heer Sommen,

Gaarne reageren wij op uw verzoek om commentaar op de passages in het HOOP die betrekking hebben op het thema "micro electronica en informatietechnologie". Paragraaf 7.2.5 "Micro-elektronica en informatietechnologie" biedt een uitermate verwarrende beschrijving van het bedoelde terrein. De gehanteerde terminologie is onzorgvuldig en geeft er blijk van dat de samenstellers van de tekst zeer onvolledig georiënteerd zijn. Nadat gesteld is dat het onderzoek ten aanzien van basistechnologie van chips en van het ontwerpen van micro-elektronische componenten een te sterk accent heeft gekregen, wordt, in navolging van het rapport van Oakley c.s. uit 1991, gesteld dat toepassing van informatietechnologie in systemen van allerlei aard van groot belang is. Even verder wordt het prioriteitsgebied aangeduid met de term informatica-onderzoek. Beide termen dekken een geheel verschillende vaktechnische inhoud. Toepassing van de informatietechnologie in systemen houdt in het gebruik van de door de micro-elektronica geboden realisatiemogelijkheden in het ontwerpen en realiseren van allerlei systemen, zoals telecommunicatiesystemen, systemen voor de opslag en bewerking van informatie, beveiligingssystemen, navigatiesystemen, chipcards, enz., enz. Informatica is de wetenschap van het omgaan met en de ordening van informatie als abstracte entiteiten. Haar methoden en werkwijzen zijn verwant aan die van de wiskunde. Voor het ontwerpen van informatietechnische systemen draagt de informatica ongetwijfeld belangrijke theoretische hulpmiddelen aan, maar het resultaat van het ontwerp-proces wordt zichtbaar in materiële, micro-elektronische structuren. Het rapport van Oakley c.s. rept niet van informatica, maar beveelt versterking van het onderzoek in de ontwerpkunde aan met een sterk accent op het ontwerpen van zgn. analoge elektronische systemen en systeemdelen. Op p. 37 van meergenoemd rapport wordt gezegd: "Especially in the field of analogue design, this is a field where the Netherlands is outstanding by world standards. Such excellence deserves reinforcement" etc.

Jan was zeer verknocht aan de micro-elektronica. Hij benaderde het dan ook globaal, of beter gezegd, integraal. (Paul van Ostaaijen zou gezegd hebben: horizontaal, vertikaal, maar ook diagonaal, ik zou eerder zeggen, zowel macroscopisch als microscopisch, Jan zegt in een voordracht voor NERG, zowel vertikaal als lateraal.) Ik kan het natuurlijk niet laten een voor de hand liggend cliché te gebruiken. Jan is een wetenschapper-technoloog uit een stuk, in de vaktaal 'monolytisch'. Zijn integrale benadering is niet moeilijk toe te lichten en loopt langs de volgende hoofdlijnen: didactisch, organisatorisch, politiek. De eerste is afdoend behandeld door mijn voorganger, en de laatste komt zeker aan de orde bij mijn opvolgers in dit colloquium, ik wil mij toespitsen op de organisatorische kant. Jan is een van de aartsvaderen van DIMES - het 'Delfts Instituut voor Micro-elektronica en Submicrontechnologie' - hedendaags codewoord voor het geheel aan activiteiten die in Delft onder de vlag van de Micro-elektronica varen. Ik ben bij mijn collega Simon Middelhoek gaan buurten om te putten uit zijn geheugen betreffende het tot stand komen van DIMES. Jan en Simon vormden de eerste motor achter de chip fabricage in Delft. Vanaf 1969 ontstond de filosofie dat je het vak noch goed beoefenen kunt, noch goed aan studenten kunt aanleren, als je niet beschikt over de mogelijkheid om chips te maken. Deze stelling was toen al controversieel en wordt nog dikwijls en met grote heftigheid - zie het HOOP - betwist. Ging het toen om een welles-nietes spel van een paar vakidioten? De term 'vakidiotie' kan je Jan moeilijk in de schoenen schuiven - ik kom straks op zijn veelzijdigheid terug. Jan vond, en vindt nog steeds, dat het eigene van volwassen ingenieurskunde het (ik citeer) 'beheersen van de weerbarstige natuur' is. Voor wat betreft elektronica drukte hij dat uit als volgt: De elektronica is de kunde van het manipuleren van zich bewegende elektronen door middel van elektrische signalen. Die signalen zijn dragers van informatie en elektronica is daarmee intiem verbonden met informatietechniek. Informatie als zodanig is een abstracte entiteit, maar zij kan alleen overgedragen worden en tot praktische inzet komen door middel van een energetische of materiële drager en het is op dat vlak dat de elektronica haar onmisbare diensten bewijst. Vaardigheid in het omgaan met informatie is een van de meest kenmerkende vermogens van de menselijke geest. Dit vermogen heeft de mens zijn biologisch succes bezorgd. Eeuwenlang heeft de ontwikkeling van deze vaardigheid gesteund op niet-elektrische middelen. ... Als we elektronica positioneren als de implementatiekunde van de informatietechniek volgt daaruit dat elektronica van doen heeft met maakbaarheid en van vervaardigingskunde. Elk technisch handelen, van welke aard dan ook, heeft ten doel scheppend bezig te zijn. ... De mens is niet alleen homo sapiëns, de nadenkende, zijn verstand gebruikende mens, hij is ook fomo faber, de fabricerende, scheppend handelende mens. Als hij niet beide is, overleeft hij niet. Het IC Atelier te Delft ontstond in 1974 uit de overtuiging bij de twee protagonisten dat de toegevoegde waarde in

de micro-elektronica ontstaat door direct contact met de relevante fysische verschijnselen. Hun visie was profetisch. De micro-elektronica zeilde van de ene - materiaal bepaalde - vondst naar de andere. Jan drukte het, zeer bondig samenvattend, als volgt uit: Around 1970, microelectronics was still in its infancy. It had already put beyond doubt its enormous potential. Which point in time must be precisely taken as the moment of birth of microelectronics is a matter of taste. After all, the entire history of electronics is one of continuing miniaturization. However, it seems logical to fix the introduction of monolytic technology, or chip technology in every day parlance, as the real breakthrough in the quest for smaller and smaller.

Als men aan monolytisme denkt, denkt men al direct aan het aanbrengen van een digitaal circuit (een computer) of een analoog circuit (een versterker of een D/A omzetter) of zelfs een gemengd analoog/digitaal circuit op een chip. Maar onze Delftenaren wilden verder gaan. Het was van meet af aan de bedoeling om allerhande effecten die op een chip plaats vinden uit te buiten om nieuwe dingen ermee te kunnen. De mogelijkheden zijn enorm en dat creatieve proces gaat nou niet zonder experiment. Droog zwemmen wilden Jan en Simon niet, de lol ervan houdt snel op en duiken in een droog zwembad is zelfs gevaarlijk. De meeste mensen en ook vele ingenieurs zijn geen innovators, ze volgen slechts trends en modes die door enkele smaakmakers worden gezet en politiek populair zijn. Sommigen proberen zelf smaakmaker te zijn, meestal of niet bezwaard door veel kennis van zaken, of misleid door leugenachtige statistieken of verkeerd generaliserende economische analyses. Maar dat was niet de instelling van de twee DIMES-aartsvaderen: de strijd met de politiek interesseerde hen minder, des te meer boeide hen de strijd met de natuur. Jan zei: Wie zich beperkt tot het bewandelen van gebaande wegen zal nooit iets uitvinden. Maar hier schoten dan toch de veelzijdigheid en de goede menselijke instincten van Jan te hulp. Simon mag de drijvende kracht geweest zijn achter de fabricage idee, Jan was degene die op kritieke momenten van de discussie die idee in overtuigende woorden wist te vertalen. In ieder geval traden ze op als een effectief tandem: toen Simon via een uiterst scherpe stellingname erin geslaagd was in een gegeven situatie ongeveer het hele beslissende gezelschap voor 't blok te zetten en tegen zich had ingenomen, kwam Jan zacht en helder met de gewenste zogenaamd compromisoplossing naar voren waar iedereen zich dan dankbaar achter schaarde. Zo was de buit binnen en ons duo kreeg bv. een subsidie van het College van Bestuur van de TU Delft met het fenomenale bedrag van 300 kf. (Micro-electronica werd toen al onbetaalbaar geacht), wat hen toeliet een 2 duims IC lijn op te zetten. Onder de bezielde en deskundige leiding van Linus Smit werd de lijn heel snel heel effectief, uitstekende technici bemanden het IC Atelier op de 4de verdieping, het zijn nog steeds de top technici van de DIMES IC Processing groep. De micro-elektronica in Delft begon echt te leven. Er kwam o.a. een micro-elektronica colloquium, en een wekelijks informeel overleg tussen hoogleraren in het vakgebied op de kamer van Simon. In die periode kwam ik er ook bij, ons wekelijks kransje bestond uit Jan, Simon, Teun Poorter, Klaas Klaasen, Max Kleefstra en ikzelf. Er werd toen gemeenschappelijk beslist dat er wat aan CACD zou gedaan moeten worden en ik werd zonder veel omhaal met die taak belast, omdat de anderen een duivelse paniek hadden voor een computer terminal (die ze trouwens nog niet helemaal hebben afgeleerd - ik heb begrepen dat Jan van de komende vrije tijd gebruik zal maken om met een PC kennis te maken). Dit was dus een goed functionerende Cie Wet avant la lettre, met een echte ingenieurs 'doe en maak' opstelling. (Het lijkt alsof de huidige Cie Wet zich meer met benamingen van vakgroepen bezighoudt dan met de behoeften van serieuze wetenschaps beoefening). Maar het IC Atelier groeide snel uit zijn jasje. De vierde verdieping was niet groot genoeg, en het was niet verstandig een complexe infrastructuur die gevaarlijke gassen en chemicaliën moet behandelen in een dicht bevolkt gebouw met een weelde aan andere activiteiten te onderhouden. De eerste plannen voor NASS (Nationaal Atelier voor Sensoren en Schakelingen) ontstonden circa 1981. Ik citeer nu een brief van Simon Middelhoek: Linus Smit had berekend dat we MF 26 nodig zouden hebben voor een nieuw te bouwen atelier, en waar haal je dat vandaan? Jan en ik schreven naar Philips, parlement, ministers en tenslotte naar minister-president Mr.A.A.M. Van Agt op 21 mei 1982. Een zeer bemoedigend antwoord werd ontvangen, maar de regering trad af met het gevolg dat op 19 november 1982 een vervolgbrief ontvangen werd, ditmaal met de handtekening van de nieuwe minister-president, Drs. R.F.M.Lubbers. Ook positief, maar wollig genoeg om het optimisme behoorlijk te dempen. Ook de zeer uitvoerige brief van de Minister van Economische Zaken (van Aardenne) van 25 mei 1983 gaf weinig hoop. In het voorjaar van 1984 kwam er beweging in de tent. Philips had MEGA plannen op het gebied van geheugens en was bang dat er in Nederland niet voldoende vakmensen werden opgeleid om dat waar te maken. De hoogleraren micro-elektronica moesten op 25 april 1984 in Utrecht maar eens uitleggen, waarom de Universiteiten niet meer mensen afleverden. We konden toen fijntjes op onze correspondentie met van Agt en Lubbers wijzen. Na ontzettend veel geharrewar kwam het grote nieuws (mei 1985): er komt 130 MF voor de drie TU's. Zij moeten een gezamenlijk plan indienen voor de besteding van de duiten. Dit lukte niet omdat de collega's een gelijke verdeling in drie een mooie verdeling vonden en iedereen Silicium wilde doen. De overheid heeft toen zelf een plan moeten maken met als resultaat de verdeling: 1/2, 1/4 en 1/4 en de onderwerpen: Silicium in Delft (maar DIMES i.p.v. DIME),III-V Eindhoven en Sensoren in Twente. Dit besluit werd morrend aanvaard en heeft geleid tot DIMES, MESA en COBRA. Tot zover de historische aanhaling! Simon Middelhoek heeft van het hele gebeuren een flinke kater overgehouden, en het moet gezegd dat ondanks het mooie resultaat dat er nu ligt, er behoorlijk wat wrijvingsenergie gedissipeerd is tussen de belanghebbende partijen: het was allesbehalve een digitaal proces! De analogicus Jan was iemand die ondanks al de herrie toch altijd het hoofd koel wist te houden, op de meest moeilijke momenten een grappige of aardige formulering uit zijn mouw wist te toveren, de blik op oneindig hield zonder daarbij het verstand op nul te zetten. Jan's ervaring met klasse B of zelfs klasse C versterkers liet hem vermoeden dat sterke dissipatie toch altijd gevolgd wordt door een nuldoorgang, en dat je pas op dat moment mag omslaan - de oude Nederlandse kunst van zeilen en 'door de wind gaan'.Het is nu tijd voor een kort intermezzo, mijn detectieven-kantoor rapporteert mij de volgende eigenschappen en/ of eigenaardigheden van Jan:

Jan is een grote en grage eter. Toch blijft hij broodmager. Als hij de gelegenheid daartoe krijgt (bv. tijdens de reis naar de USA die Jan en Simon samen maakten ter voorbereiding van DIMES) kiest hij een restaurant waar je voor minimum prijs zoveel mag eten als je maar wilt.

Jan, net als de meeste hoogleraren, praat graag. Als anderen aan het woord zijn, moet hij zijn mond houden. Dat kost hem veel moeite, wat je kan horen aan binnenmondse kreungeluiden die hij dan genereert. Jan heeft geen bezwaren tegen vergaderingen, die uitsluitend

bestaan uit het goedkeuren van de agenda, de notulen en het afspreken van de volgende vergaderdatum - het voordeel van dit soort vergaderingen is dat de mensen elkaar gezien hebben maar niet de tijd gekregen hebben om een schadelijk 'gremium' op te zetten.
In zijn jeugd wilde Jan altijd trambestuurder worden. Hij kende alle lijnen met eindpunten in Rotterdam uit het hoofd - wat ongetwijfeld van pas zal komen wanneer onze regering gaat beslissen dat mobiliteit behalve met publiek transport uit den boze is.

Jan's gave van het woord heb ik al gememoreerd en welke belangrijke rol die heeft gespeeld in de Fakulteit en het tot stand komen van DIMES. Maar Jan heeft twee eigenschappen die hem voor mij en voor vele anderen tot een zeer bijzonder persoon maken. De eerste is: de gave om zich te kunnen inleven in de zienswijze van een ander.En de tweede: de gave om techniek te vervullen met esthetische emotie. Jan is tweemaal dekaan geweest van onze Faculteit. Hij deed dat op een relaxte, mensgerichte wijze, wat hem overigens niet belette zich zeer in te spannen voor het belang van de Faculteit. Jan is misschien geen doelbewuste voorstander van het harmoniemodel, hij is er bijna de belichaming van. Harmonie komt bij hem van zelf. Hij is een syncretisch - sommige historici beweren dat het syncretisme de essentie is van de westelijke beschaving, Jan zit helemaal in het hart ervan.

En ik ben nu ongemerkt beland aan de kern, de essentie van mijn rede: Jan's filosofie.Ik wil niet beweren dat ik die helemaal ken of zou kunnen kennen, maar jaren omgaan met Jan, en o.m. lezen van zijn geschriften geven mij toch een zekere deskundigheid terzake. Het is voor velen een wonder (soms een verassing of een verbazing) waarom Ingenieurs warm lopen voor hun vak, en Jan is heel zijn leven lang een bijzondere warmloper geweest. En dat was hij niet onbewust. De woorden 'syncretisme' en'integratie' liggen dicht bij elkaar. Vergeef mij dat ik mijn klassieke metafoor ophaal, die van de muziek, om mijn punt duidelijk te maken. Ingenieurs zijn instrumentbouwers, waar de maatschappij muziek mee kan maken. Het proces bouwen, componeren en musiceren is een geheel, zelfs al worden de onderdelen door diverse personen beoefend. Het is een functionele eenheid van zeer verscheiden disciplines. Jan's 'beheersen van de natuur' is het kenmerk van de ingenieurs discipline, het is de inbreng van de instrumentbouwer in het maatschappelijk proces. En een goede instrumentbouwer zal zeer betrokken zijn bij de muziekbeoefening op zijn instrument. Hij zal nauw samenwerken met musici, en zelf ook een diep gevoel hebben voor klankkleur en hoe zijn instrument overkomt in de symphonie van anderen - klankkleur heeft voor een instrumentbouwer een heel ander karakter dan voor een musicus: de ene hoort een discordante natuur, de andere een discordante esthetiek. Al is de instrumentbouwer niet op de eerste plaats een musicus, zijn kritisch musicale sensibiliteit moet dat van een musicus evenaren of misschien zelfs overtreffen.

Jan's drang tot integratie overstijgt het silicium. Hij heeft een grote belangstelling voor ethische en sociale kwesties, en hoe de maatschappij omgaat met het instrumentarium van de ingenieurs. Enerzijds is hij een fervente verdediger van het principe dat je geen mooie maatschappelijke muziek kan laten klinken op slechte instrumenten, anderzijds vindt hij dat de instrumentbouwers zich terdege moeten laten leiden door de sociale klankkleur die hun instrumenten voortbrengen. Het een en het ander kan niet zonder een bijzondere aandacht zowel voor techniek en materialen als voor ethische zaken: het verbinden van de een met de ander is het kenmerk van het syncretisme alias integratiekunde. Zelf vind ik dat wat in DIMES gebeurt een perfect voorbeeld is van deze gedachtengang. Het is een plaats van doen en denken, van ontwerpen en toepassen, van aandacht voor de 'weerbarstige natuur' en de 'weerbarstige politiek' - en van dat laatste hebben we recent wel wat hartige staaltjes kunnen proeven. Maar wij, ingenieurs, zijn 'het slijk der aarde' - en zoals U weet, geachte toehoorders, slijk bestaat voor een goed deel uit Silicium.

Ik wil mijn rede beëindigen met een woordje van dank. Op de eerste plaats aan jou, Jan,voor de vele ogenblikken die we samen doorbrachten, dikwijls zeer concreet dingen regelend, maar steeds met een goede verstandhouding als 'basso continuo' op de achtergrond. Het was duidelijk dat we van elkaar hielden, de te regelen zaken vormden een goed alibi, we lieten ook geen gelegenheid voorbijgaan om ook over meer fundamentele zaken van gedachten te wisselen.

Tenslotte wil ik mijn toehoorders bedanken dat zij geduldig naar mij geluisterd hebben.Ik kan mij niet weerhouden te zeggen waar het hart van vol is. Dat hoeft niet aantrekkelijk te zijn voor een audiëntie, en mogelijk krijg ik een en ander ook niet helemaal goed geformuleerd. Gelukkig kunnen we als mensen met meer dan met woorden communiceren. Dat we hier bij elkaar zijn omheen een buitengewoon persoon waar we allen veel aan hebben gehad en ook veel van hebben gehouden zegt meer dan ik kan verwoorden.

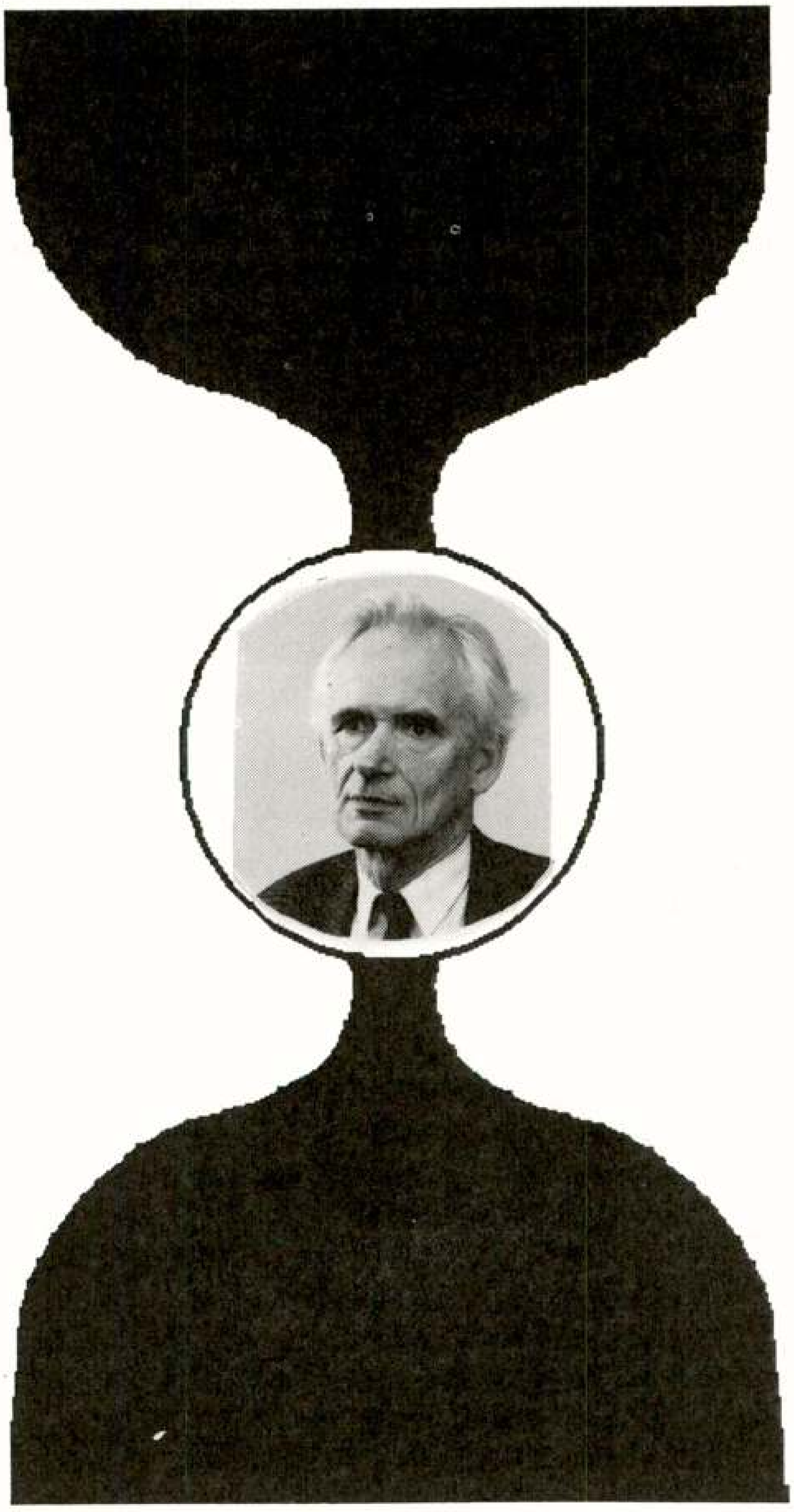
JAN DAVIDSE IN DE CONSTRICTIE VAN EEN ZANDLOPER

door C. le Pair

Zoals u ziet, is professor Davidse hier geportretteerd in de vernauwing van een zandloper. Ik heb namelijk de ambitie u zijn plaats te schilderen in de ontwikkelingsgang van de mensheid. Een wat ruim gekozen context, dat realiseer ik mij wel. Ik zal mij dus moeten haasten om vlug in te zoemen op de Nederlandse geschiedenis en op die van het TU-onderzoek en verder zoemend kom ik dan bij Jan uit. Vervolgens draai ik mij om en werp de blik vooruit, waarbij er in omgekeerde richting gezoemd gaat worden. Wij eindigen dus met een beeld van hoe onze plaats in de wereld wordt, of zou moeten worden. De zandloper leek mij daarom een geschikt symbool.

Veel auteurs laten de mensheid ontstaan op het moment dat de homo erectus begon werktuigen te hanteren. De mens begon met de technificatie. In de hedendaagse alfa-gamma-cultuur wordt daaraan zelden de conclusie verbonden, dat de technicus dus dè mens is bij uitnemendheid, maar dat terzijde.

Informatie speelde bij de ontwikkeling een grote rol. Homo sapiens kan er beter mee omgaan dan de rest van het dierenrijk. Zijn geheugen en processor zijn beter. Mensen kunnen informatie dus ook beter manipuleren. Een afbeelding van de werkelijkheid in onze hersens kunnen wij variëren door hem te combineren met andere eerdere waarnemingen. Dat geeft een flinke voorsprong.



Figuur 1, Davidse in volledige zandloper

Zo kon de oerjager trekkend door het oerbos, als hij een boom zag, zich voorstellen dat er achter die boom iets was, een prooi bijvoorbeeld of een sabeltandtijger. Dat vergrootte zijn overlevingskansen ten opzichte van zijn minder begiftigde tijdgenoten. Nog belangrijker was, dat mensen over de opgeslagen informatie gingen praten. Een gerijpte vorm van communiceren vergeleken met uitlatingen als: "miauw", of "tok-tok-eh". En twee weten meer dan één. Opnieuw een versterking. Vervolgens weer de mogelijkheid tot een beter georkestreerde fysieke actie in de omgeving. Tel uit die winst.

Al in de vroegste tijden waren er lui, die zich zorgen maakten over informatieverlies. Zij ontdekten dat in steen of hout gekerfde symbolen informatie konden bevatten. De opslag verkleinde de kans op verloren gaan. Natuurlijk wordt het omgaan met zulke informatie pas echt interessant voor een groter publiek als de kennis nodig om de symbolen te kunnen lezen en schrijven kleiner is dan de informatie die in zulke symbolen beschikbaar is. Voor het zover was, zal de kras- en kerfactiviteit dus wel tot een kleine groep oer-academici beperkt zijn gebleven. U merkt het, Jan's voorouders stonden aan de wieg van de beschaving. Aldus vastgelegde informatie bleek beter erosiebestendig dan het menselijk brein. Ook leende zij zich beter tot het doorgeven aan anderen, zelfs over grote afstanden in plaats en tijd zonder veel verlies. Met behulp van geduldig praten, luisteren, uitleggen, voordoen, leren, verder ontwikkelen, voortbouwen op het bestaande, gebruikmaking van individueel geschreven of gebeitelde teksten zijn indrukwekkende beschavingen opgebouwd.

U ziet het, van oertijd naar beschavingen in het meervoud, het zoemen gaat snel.

De informatie-technologie in de ruimste betekenis van het woord stond in de ontwikkeling steeds centraal. Stroomversnellingen traden op bij technologische doorbraken. De boekdrukkunst, de telegraaf, de radio, de fotografie en de TV zijn slechts een greep uit de vele mijlpalen, waarbij de wereld onherkenbaar veranderde. Met de magnetische, elektrische en optische opslag van informatie ontstond de mogelijkheid van informatie bewerking buiten het menselijk brein en de dramatische gevolgen daarvan zullen de wereld opnieuw drastisch veranderen, zonder dat er ook maar een politicus een hoofdrol bij speelt.

Van de mogelijkheden die de boekdrukkunst bood, profiteerden de lage landen aanvankelijk het meest. Wij werden technologisch het meest vooraanstaande stukje wereld. Die positie bracht de gehele bevolking talloze voordelen. Later keerden historici de causaliteit

om en spraken van "de gouden eeuw waarin de kunst, de wetenschap en de techniek bloeiden". Wij weten dat dat voor wat betreft de laatste twee onzin is, maar daarover wil ik het vandaag niet hebben. Twee historische feiten wil ik noemen, die ik later - bij het uitzoemen, na Jan - ook weer nodig heb.

Het eerste is, dat in de Gouden Eeuw vrijwel de gehele handel en nijverheid gebruik maakte van produkten die van elders kwamen. Zij werden aangevoerd, opgeslagen, overgeslagen, al of niet uitvoerig bewerkt, gebruikt, of doorverkocht. Zelfs het hout voor de schepen waarmee wij de goederenstroom via ons land leidden, moesten wij importeren!

Het tweede is dat wij na de 17e eeuw versukkelden. Hoe dat kwam, begint pas in deze tijd enigszins door te dringen. Tijden lang hebben wij ons zelf zand in de ogen gestrooid met de 'verklaring': "wij waren te klein om het tegen de grote mogendheden op te nemen." Flauwekul als je bedenkt dat wij het juist daarvoor van de grootste mogendheid die de wereld ooit gekend heeft, hadden gewonnen. De relatieve betekenis van groot en klein - Amerika en China, Israël en Arabië, David en Goliath, de geschiedenis is er vol van - zou genoegzaam bekend moeten zijn. Wat er gebeurde, was dat wij ophielden met te investeren in de toekomst. De elite knipte coupons. We waren arrivé en net als tegenwoordig geloofden wij graag dat niemand onze positie onderuit zou kunnen halen. Belangrijke uitvindingen die onze positie hadden kunnen versterken bleven achterwege, of werden vooral door de Engelsen toegepast, zoals het bekleden van het onderwaterschip met koperfolie tegen aangroei (en paalworm), waardoor de Engelse zeemacht ten opzichte van de onze aan snelheid won. Zelfs de Fransen hadden sneller remedies tegen het door het koper optredende corrosieprobleem. Wonder dat wij het aflegden?

Tweemaal is er sindsdien in het landsbestuur een markant reveil geweest. De eerste keer in de tweede helft van de negentiende eeuw - denk aan de oprichting van de TH, de Nobelprijzen, de ingenieurs die een grote rol in het landsbestuur speelden - waarop een sterke opleving van de economie volgde. De tweede was onmiddellijk na de tweede wereldoorlog.

Schermerhorn en de kabinetten die daar onmiddellijk op volgden zagen het belang van een sterke technologische basis. De gevolgen van hun visie waren markant. Het Nederlandse 'Wirtschaftswunder' liep jaren op het Duitse voor. Het momentum is nog lang daarna sterk gebleven. Nog in 1968 spendeerde ons land per hoofd het meeste geld aan wetenschappelijk onderzoek en onze universiteiten waren de rijkste ter wereld op een paar Amerikaanse na. Die positie hebben we snel laten eroderen zoals u allen weet.

Mijns inziens staat Nederland kort en goed op twee pijlers: zijn geografische positie en zijn menskracht. Het aardgas in het Noorden heb ik maar weggelaten. Die bel loopt binnenkort vanzelf weer leeg. Onze socio-experts verdelen dezelfde koek vele malen. Ze bedenken valuta-'swaps', leasing van octrooi-portefeuilles en convertibele obligatie-leningen om bedrijven in stand te houden. Aan de andere kant scheppen zij 600 000 banen over de grens en snijden in de kosten van onderwijs en research om het land weer gezond te maken. De werktuigen die het nieuwe kabinet inzet om de pijlers te ondermijnen zijn inmiddels bekend. 'Naar de haaien met kapitein Kok' lijkt mij een goede typering.

Hoe ging dat in 1945/6? Het kabinet oordeelde dat technologie en natuurwetenschap voorwaarden waren voor een sterke economie. Er was niet genoeg geld om het hele WO te versterken maar extra geld voor de TH - dat was Delft - lag voor de hand. Men besefte echter dat men ook de universitaire natuurwetenschap nodig had. Hoe kon men die selectief steunen? Goede raad was duur. Maar het initiatief van een aantal fysici en chemici tot oprichting van de FOM bood een oplossing. Even was er sprake van om ook de TH-natuurkunde van FOM te laten profiteren. Maar de gezaghebbende stem van R. Kronig, die verontwaardigd elke bemoeienis van anderen met zijn werk afwees, plus het feit dat de preferentiële eerste geldstroom naar de TH ruim voldoende was - men kon de beschikbare personeelsplaatsen niet eens alle bezetten; net zo min als de FOM trouwens - maakte dat de FOM en later ZWO in hoofdzaak een instrument voor de andere universiteiten werden. Ik noem dit de Schermerhorn-Kronig-erfenis.

Toen in de zeventiger jaren de eerste geldstroom verkrapte, begonnen elektrotechnici en fysici bij de TU zich af te vragen waarom zij geen geld van FOM en ZWO kregen. ZWO had een rechtsgeldig excuus: 'geen toepassing'. Maar FOM had dat niet. Fundamenteel onderzoek kan namelijk heel goed op toepassing gericht zijn. Jan Davidse en Simon Middelhoek bonden samen met de Delftse fysici de kat de bel aan. Zo ontmoette ik hen voor het eerst. Persoonlijk vond ik dat zij het bij het rechte eind hadden, maar andere fysici die de besturen en commissies van de FOM uitmaakten, zaten uiteraard niet te wachten op een groep stiefbroertjes en -zusjes die uit hun ruif wilden komen eten. Er volgden vele vermoeiende vergaderingen met diepzinnige gedachtenwisselingen. Voor mij was het een leerzame tijd. Om met Nietsche te spreken: "Menschliches all zu menschliches". De universitaire fysici vroegen wat fundamentele technische fysica en elektrotechniek eigenlijk was en hoe het zou moeten worden beoordeeld? De technici hadden zich daar niet echt goed op geprepareerd. Zij hadden aanvankelijk geen andere strategie dan: 'wij willen ook geld' en gaven allerlei, vaak onderling strijdige, antwoorden. Dat hielp niet en er ontstond een impasse.

De doorbraak kwam van Jan Le Poole. Hij was het gepalaver moe en viel op een van de besprekingen ongeduldig uit: "Allemaal onzin. Technische fysica is gewoon goede fysica, waarop een externe gebruiker zit te wachten." De rest van de geschiedenis is bekend. Het Ministerie van Economische Zaken gaf op het juiste moment een financiële injectie, dat hielp om de kar over de brug te trekken en er kwam een programma voor Technische Natuurkunde en Innovatie en wat later een werkgemeenschap Halfgeleiders, waarin Jan en Simon en de collega's Klaassen en Poorter met hun "Fabricage van geïntegreerde schakelingen" een prominente plaats innamen. De verdere ontwikkeling was toen eigenlijk voorspelbaar. Toen de criteria "wetenschappelijke kwaliteit" en "utilisatie" ook in de praktijk goed hanteerbaar bleken, was het probleem, hoe technisch onderzoek af te wegen, van tafel. Vanzelfsprekend merkte men in andere vakken wat er gebeurde en men vroeg zich af, waarom dit alleen voor natuurkunde en een deel van de elektrotechniek (en de metaalkunde) zo kon. Generalisatie lag voor de hand en zo ontstond de Stichting Technische Wetenschappen. Een analoge ontwikkeling met die van het ontstaan van ZWO in 1950 naar het voorbeeld van de FOM.

Tot de leukste projecten van Jan Davidse in de STW reken ik de geïntegreerde FM-ontvanger met SAW-bandfilters en -resonatoren en de geïntegreerde AM-ontvanger voor het frequentiegebied van 100 kHz tot 30 MHz. Jan's afkomst verloochende zich niet. De potentiële gebruikers kwamen allemaal van Philips, zowel uit CE als Elcoma en de HI Audio, naast natuurlijk het NatLab. De verwachtingen waren hoog gespannen. Kon dat allemaal op een chip? Het werd een prachtig onderzoek, waarin het ene succes op het andere volgde. Jan's kamer was te klein voor de gebruikerscommissie, die steeds voltallig kwam opdraven. Maar de koffie en de sfeer waren uitstekend. Dat het algehele concept tot nu toe niet is toegepast, heeft

geen technische, maar louter een commerciële reden. Je kunt geen prachtradio van de hoogste kwaliteit duur verkopen, als het publiek een goedkoper broertje met wat ruis prefereert. De strijd van digitaal versus analoog is nog niet uitgestreden. Wij bij STW vermoeden dat een hybride oplossing in het verschiet zou kunnen liggen.
De briljante onderzoekers die onder Jan's leiding aan deze projecten hebben gewerkt - ik noem Visser, Van Zeijl, Van der Plas en Eikenbroek - veroverden door hun werk zelf de nodige bekendheid. De proefschriften bleken veel gevraagd te worden en de industrie nam de doctoren graag op: Ericson, Philips en Ford openden hun poorten ondanks de economische malaise.
Ook andere grote ingenieurs uit het verleden, denk aan Da Vinci en nog verder terug, Vitruvius, zagen niet al hun bedenksels in de praktijk gerealiseerd. Toch werden ook vele niet gerealiseerde concepten erg bekend, door de inspiratie die anderen er uit putten. Wij komen zo op de technologische cultuur, die veel spiritueler is dan primitieve alfa's en economen denken. De tijd voor het uitzoemen is gekomen.
De maatschappelijke betekenis van de elektronica krijgt in de industrie gestalte. En die industrie kwam door de razendsnelle ontwikkelingen in de problemen. Niet alleen verviervoudigden elke 2,5 jaar het aantal schakelingen en componenten op 1 mm² silicium, maar ook de investeringen nodig voor die nieuwe generatie IC's verdubbelde in dezelfde periode steeds. Het Ministerie van Economische Zaken achtte deze tak van technologie zo belangrijk dat het besloot Philips in zijn research te steunen. Er kwam een speerpuntprogramma 'Elcoma'. Een kleine commissie van Davidse, Heetman en de helaas te jong gestorven Jan Middelhoek moest er voor EZ op toezien dat de gelden goed werden besteed. Het was dunkt mij een uitstekend programma, vooral omdat het om een aantal betrekkelijk losstaande projecten ging. Hierdoor behield Philips de nodige flexibiliteit. Een conditie die bij het latere, veel meer geïntegreerde MEGA-project in veel mindere mate was vervuld. Persoonlijk behoud ik de allerplezierigste herinneringen aan deze exercitie. De vergaderingen gaven grote voldoening, naar ik begreep ook aan Philips-zijde. Het was leuk om te zien hoe bepaalde kritiek van onze kant daadwerkelijk tot bijstelling van het programma leidde. Al gebiedt de eerlijkheid te zeggen, dat in de meeste gevallen Philips zelf ook al tot die conclusie was gekomen. Een keer ontdekte Jan een onderdeel waarin de Philips-werkzaamheden niet in overeenstemming waren met het ontvangen subsidie. Voor de rest waren er geen ongeregeldheden. (Het gebeurde ook een keer dat Philips zelf ons attendeerde op een dubbeldeclaratie.) Kortom een harmonieuze operatie, waaraan overheid en bedrijf met voldoening kunnen terugdenken, die ook nog plezier verschafte aan de toezichthouders.
Wij zoemen verder. Dat het met een groot deel van de industrie niet zo goed gaat - Philips is niet de enige met zorgen - is bekend. Deels is dat het gevolg van een recessie, maar helaas lijkt ook een deel van de problemen meer permanent. In economische kringen spreekt men over de globalisering. Minister Andriessen karakteriseerde die als volgt: "Wat is er eender aan een Nederlandse fiets, een radio uit Nederland, een bureaustoel uit Nederland, een Nederlandse personenauto, een gewoon benzinestation of noem maar op? Eender daaraan is, dat bijna alles daaraan voor het grootste deel in het buitenland wordt geproduceerd...". Na wat ik hiervoor zei over onze handel en nijverheid in de 17e eeuw, begrijpt u dat hij hier hooguit iets aangeeft dat gradueel nieuw is, maar niet iets wezenlijk anders.
Produktie wordt verplaatst naar het buitenland en de loonkosten inclusief de veel besproken 'wig' krijgen de schuld. Het nationale Platform Globalisering dat dit voorjaar op instigatie van Minister Andriessen bijeenkwam, sprak weliswaar ook nog een paar minuten over de betekenis van technologie, maar dat was toch meer een ritueel dan dat de politiek-financiële elite zich er erg veel aan gelegen liet liggen.
Ik ben van oordeel dat zo het echte probleem dat met 'globalisering' wordt aangeduid, niet wordt begrepen. En als men het niet begrijpt, zullen ook de aangedragen remedies niet helpen. Het gaat om een trend met een lange relaxatietijd; een mega-trend. Ruim vier eeuwen hebben wij in ons land op rozen gezeten. Wij konden dingen, die anderen in de wereld niet konden. Voor de rest van Europa geldt dat misschien driehonderd jaar en voor Amerika honderdvijftig jaar, maar in elk geval zo lang dat het menselijk geheugen de toestand doet percipiëren als 'zo is het nu eenmaal'. In die voordelige toestand doet het er niet toe, of in andere gebieden de lonen lager liggen. Als men iets wilde, dan moest men dat hier doen, omdat de anderen het niet konden. In die toestand komt nu verandering. Die anderen halen ons in. Zij kunnen het ook en in een groeiend aantal gevallen zelfs beter dan wij. Terwijl Philips hier inkrimpt - de nieuwe fabriek in Nijmegen waarover wij hier allemaal zo blij zijn, is maar een rimpel in de vijver - gaat het bedrijf er prat op de grootste investeerder in Taiwan te zijn. In dat land staat een instituut voor het ontwerpen van chips met 1500 nijvere Chinezen. Philips haalt steeds meer van zijn ontwerpen daar vandaan. Dat doet het bedrijf niet omdat het daar zoveel goedkoper is, maar eenvoudig omdat ze het beste zijn. Let wel, niet meer goedkope dommekracht, maar de creativiteit wordt in deze cruciale sector al van elders gehaald.

	Researchers	Researchers (per 100.000 inhabitants)
USA	800.000	320
Japan	410.000	360
Europa	500.000	170
Nederland	27.000	180

Tabel
Bron: De Nettancourt EC - DG XII

In de tabel ziet u, waar m.i. de oorzaak ligt van de malaise. Het scheppen van nieuwe kennis wordt hier tegenwoordig van zo weinig belang geacht, dat we relatief met grote snelheid achterop raken. Wat de regeringsprioriteiten van het nieuwe kabinet betreft, daarover nu maar niets. Ik wou het vandaag wat gezellig houden.
Staatslieden met de visie van Schermerhorn en Drees zie ik niet aan de horizon.
In de ontwikkeling zit een 'Catch-22'. In een open wereldmarkt, zonder restricties op kapitaal- en goederenstromen, zet een verstandig investeerder en ondernemer zijn kapitaal daar in, waar het het meest opbrengt. Bij paritaire kennis en kunde zullen wij dus op den duur ook weer kinderarbeid moeten accepteren om te kunnen blijven concurreren, zolang men dat elders ook doet. Merk op dat lage lonen in Azië niets nieuws zijn! Maar als het kennisniveau elders het onze voorbij schiet, dan is zelfs een lage-lonenbeleid met wig-eliminatie niet meer voldoende. Alleen als wij een kennisomgeving scheppen die beter is dan die in de rest van de wereld, zullen goed geleide bedrijven er niet omheen kunnen om hier een groot deel van hun R&D te concentreren, hun proefproduktie te starten, kortom nieuwe bedrijvigheid op touw te zetten. Ik zeg niet dat het verkeerd is om elders laboratoria te bouwen, geenszins. Maar dat het zwaartepunt naar buiten verschuift, dat is wel heel erg.

Waar zit de fout, wie doet het verkeerd? De ondernemer of de investeerder die elders activiteit ontwikkelt? Ik denk het niet. Je kunt het iemand niet kwalijk nemen, dat hij liever een huis in Maleisië bouwt dan hier, als het risico even groot is en als de opbrengst daar beter is. Maar wat in die berekening ontbreekt, is het genot van de bewoner van het huis. Dat is een inwoner van Maleisië, geen Hollander. Wat ook ontbreekt is het feit dat de Maleisische bouwvakkers zo een inkomen verdienen, niet de bouwvakkers hier. Een onderzoeker in een Shell-lab in Singapore versterkt het kennisniveau van Singapore en Shell, maar niet van Nederland. Bij de afweging van de investeringsbeslissing ontbreekt de factor van de versterking van de eigen economie.

Wie heeft er eigenlijk belang bij dat er hier economische activiteit is? Ik denk dat het antwoord luidt: de mensen hier, die hun toekomst in Nederland willen maken. Dat wil zeggen de werknemers, die belang hebben bij de continuïteit van hun bedrijven. En verder het volk als geheel, dat in zijn totaliteit moet bouwen aan zijn eigen toekomst. Hoe de staf te mobiliseren is, zou ik niet weten. Wel dat hij bereid moet zijn offers te brengen, o.a. door harder en beter te werken. Werk schept werk, dit in tegenstelling tot wat in politieke en vakbondskringen vaak wordt gedacht. Het volk als geheel is een duizendkoppig monster, dat vaak niet weet wat het wil. Daarom denk ik in eerste instantie aan de regering. Daarvan moet een visie worden geëist, die het probleem echt onderkent en daarop adequaat reageert. Ik vrees dat daarvoor een kabinetscrisis nodig is.

De overheid moet dus de kennisbasis versterken. De uitgaven voor wetenschap en technologie moeten om weer vooraan te komen met ca. 50% omhoog! Wist u dat EZ onze positie in de wereld onlangs kenschetste met: "Nederland is afgehaakt bij de groep van Europese landen die de koplopers achtervolgt."? Dat werd geschreven voor de bezuinigingen van nu werden aangekondigd.

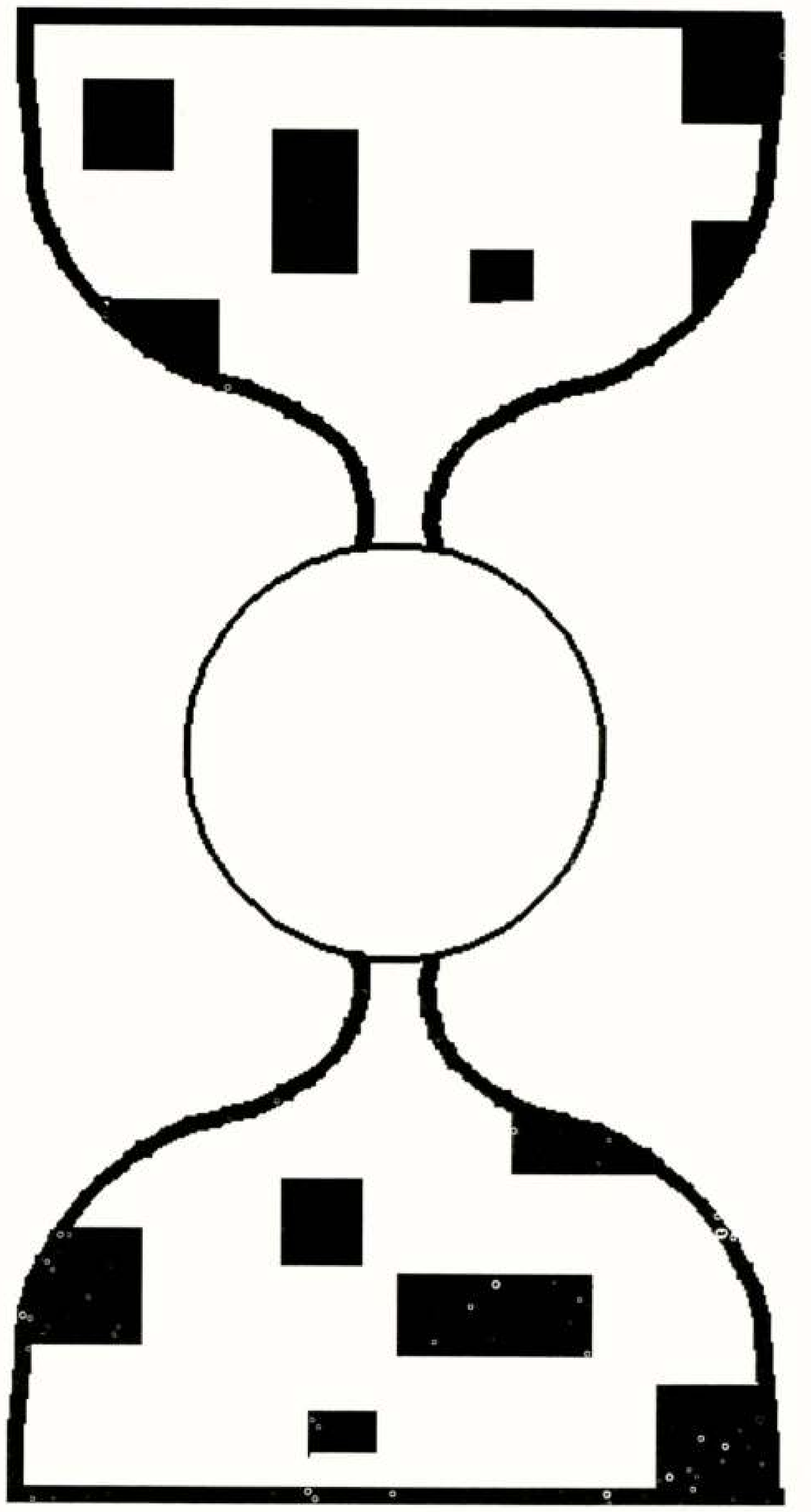
Er moet dus veel meer geld komen voor het onderwijs, in het bijzonder het universitair onderwijs en onderzoek en voor de overige research-instellingen van de overheid.

De vraag die in dat verband ook bij mij opkwam, was wat er tegen is om de overheid bedrijfsresearch te laten financieren. Het is precies dat deel van een investering waarvan de doorsnee ondernemer en politicus, meestal juristen, accountants, economen en kooplieden geen verstand hebben. Dat wil zeggen beslissingen waarvoor ze in moeilijke tijden dus terugschrikken. Als die kennis publiek gemaakt wordt, is het in feite niet anders dan wat de overheid doet in eigen instituten. Als later een deel van de kennis wordt geprivatiseerd - op zo'n moment onderkent de onderneming dus al wel de waarde ervan - dan is een retributie bij gebleken succes een goed middel om te voorkomen dat enkelen zich verrijken ten koste van de gemeenschap. De overheid zou lering kunnen trekken uit een uitspraak van de Zwitserse Minister van Wetenschap: "Het is beter te investeren in wetenschap dan in werkloosheid." Voor mij staat het vast dat de mega-trend die aan de gang is, het wegvloeien van economische activiteit uit ons land, alleen kan worden gekeerd door een superieur technologisch niveau en niet door kostenreductie. En al helemaal niet als die kostenreductie bezuiniging op kennisproduktie betekent.

Het komt mij voor dat bedrijven te veel geconcentreerd zijn op de problemen van vandaag. Om die op te lossen trekken ze socio-expertise aan: economen, accountants en juristen, om van bedrijfskundigen maar niet te spreken. Dat kan goed zijn, om op de markten in te spelen met de produkten van vandaag en om creatief met financieringsproblemen om te gaan. Maar voor de markten van morgen zijn produkten van morgen nodig en die worden niet in die hoek gemaakt.

Samen sterk, kennis is macht, ondernemingen en publieke sector de handen ineen. Met deze of dergelijke trefwoorden moeten we naar het wereldkampioenschap streven. En met minder dan dat mogen wij geen genoegen nemen.

Jan, jij hebt je best gedaan om de kennisbasis van ons land te versterken en je deed dat gelukkig met veel succes. Niet alleen wordt op de door jou gegenereerde kennis verder gebouwd, maar ook de mensen die jij opleidde, dragen er weer verder aan bij. Ook aan een verantwoorde besteding van publieke middelen in de industrie heb je meegewerkt. Maar, geduldige toehoorders, voor een adequaat antwoord op de problemen die anderen 'globalisering' noemen, moet onze strategie vis à vis de rest van de wereld worden herzien en daarvoor zijn vele Jannen nodig. En die komen er alleen als het land zijn prioriteiten anders stelt.



Aan het eind van mijn verhaal blijkt, dat van mijn ambitie van het begin maar weinig terechtgekomen is. Maar wie goed door zijn ooghare naar het plaatje kijkt, kan, dunkt mij toch de zandloper terugvinden met Jan in het nauwe gedeelte. Jan, het ga je goed.

A LA RECHERCHE DU TEMPS PERDU

K. Teer

Als je mensen van mijn leeftijdscategorie het spreekgestoelte ziet beklimmen , vooral bij een afscheid, dan is de kans erg groot dat het een historisch- nostalgisch verhaal wordt met een "flinke scheut: " Vroeger was alles beter".

Nu dat wordt het ook! Na drie jonge voorgangers die Jan Davidse in al zijn volheid als technicus hebben neergezet zal ik mij verre houden van het nu, het recente verleden en het grijze verleden en mij concentreren op het ontstaan van Jan Davidse als technicus.

De kraamkamer was de instelling waar wij nu gastvrijheid genieten.

Het nest was Philips Nat. Lab.

Nu zie je al weer hoe bèta-mensen de mist ingaan als zij metaforen hanteren: in de eerste plaats was die school belast met het hele prenatale proces (met een dracht van vijf jaar), dat was dus meer de moederschoot en in de tweede plaats is een nest altijd ook kraamkamer.Ik bedoel hier natuurlijk die aspecten die slaan op het voederen, leren van de eerste zelfstandige stappen en het inprenten van normen, waarden en gebruiken.

Dan is er nog wat, tussen zijn afstuderen en zijn tewerkstelling bij Philips zit nog twee jaar militaire dienst. Dat zou dan de couveuse moeten zijn, een beeld dat zich niet zo gemakkelijk verenigt met het krijgskundig bedrijf. Hoewel, ik weet niet hoe het nu is maar mijn generatiegenoten zullen kunnen bevestigen dat destijds, als je het militaire systeem op de juiste manier wist te manipuleren, er toch een grote rust en geborgenheid over je kon komen.

Nou vooruit !

De Technische Universiteit Delft heette toen nog Technische Hogeschool. Zonder Delft want niemand zou op 't idee komen dat 't niet in Delft was.

Even voor de nieuwkomers: hogescholen waren toen nog geen universiteiten, middelbare scholen waren geen hogescholen en lagere scholen waren geen middelbare.

In ieder geval moesten een heleboel steden het zonder universiteit stellen zoals Eindhoven,Enschede, Rotterdam, Tilburg, Maastricht en Breukelen.

Aan die T.H. kon je techniek leren (geen technologie), bijvoorbeeld Elektrotechniek en dat deed Jan.

Hij stapte de T.H. binnen in 1947, een zeer bijzonder jaar in de elektrotechniek. In december1947 realiseerden Brattain, Shockley en Bardeen de eerste transistor. Maar het jaar staat niet alleen: in 1946 publiceerde von Neumann zijn "stored program"-concept. In 1948 publiceerde Shannon zijn informatietheorie. Drie technisch-wetenschappelijke gebeurtenissen die in vereniging het vak, de techniek in z'n geheel en -zeg gerust- de wereld revolutionair zullen veranderen. Dat kan Jan dan nog niet weten, evenmin als zijn professoren of wie dan ook.

(Overigens gebeurt er natuurlijk in ieder jaar wel wat, in 1948 werd ook de 33 toeren plaat gelanceerd, in 1950 het schaduwmasker-concept uitgewerkt en in 1953 de definitieve kleurenstandaard NTSC in de Verenigde Staten aangenomen. Allemaal niet van die revolutionaire allure maar sommige feiten kunnen je persoonlijk wel erg bezig houden.)

In 1953 haalt Jan zijn diploma, hij heeft dan erg veel geleerd. Daar zou u verbaasd over staan als dat hier allemaal werd opgenoemd. Sterker, hij zou er zelf verbaasd over staan nu. Om maar eens wat te noemen:

-het kenmerk van d' Alembert en Cauchy, een vlampijpketel, het werk van de heer Laval, een druipwaterdichte draaistroommotor met kortsluitanker, een ontaarde ellipsoïde als antenne, de stelling van Castelgliano, een harmonische vierstraal , de virtuele kathode, het Hurwitzpoloynoom, zes eenhedenstelsels en een afsluiter.

Maar hij heeft er ook zaken geleerd die tot op de dag van vandaag basisbegrippen zijn van het technisch handelen en denken en waarvan de zeggingskracht ver buiten de techniek uitgaat:

- notities als tijdconstante bijvoorbeeld, statisch overbepaald, tegenkoppeling, blind vermogen,conventie, behoudswet, randvoorwaarde.

Soms zou het goed zijn als de niet-technische wereld noties zou overnemen. Blind vermogen bijvoorbeeld voor het vergadercircuit; als spanning en woordenstroom loodrecht op elkaar staan. Soms zou het goed zijn als de niet-technische wereld een woord teruggaf wegens wangebruik, randvoorwaarde bijvoorbeeld.

Hij heeft er ook zaken niet geleerd: satellietantenne, IC, glaskabel, Basic, CD, CCD, CAD,laser, indexbuis.

Hij heeft geen boze brief geschreven over minaanpassing tussen onderwijs en bedrijfsleven, hij heeft zich die zaken eigen gemaakt met het intellectuele gereedschap dat hij bij zijn TH kreeg aangereikt.

In 1955 gaat Jan Davidse uit militaire dienst en naar Philips. Hoe zag Nederland er in 1955 uit?

Politiek: het aantal leden van de tweede kamer werd uitgebreid tot 150.

Economisch: de omzet van Philips was boven de 2 milliard en de winst na aftrek 6,5%.

Sociaal-economisch: er waren 26.500 werklozen.

Sociologisch: Jan Vrijman voerde het begrip "nozem" in.

Cultuur: het was in het jaar dat Karel Appel zei: "Ik rotzooi maar wat aan."

Technisch: de Fokker Friendship maakt een proefvlucht, een Deltaplan wordt opgesteld.

Amusement: Johnny Jordaan als zanger en Bob en Daphne als lectuur.

En tenslotte, er waren 10.000 TV-toestellen in Nederland. (2.800 in 1954 en 45.000 in 1956). In de beeldvorming van nu -veertig lichtjaren verder- krijgen de objecten van toen paradoxale trekken. Philips bijvoorbeeld: business-scholen en consultants roerden zich niet, maar ht bedrijf liep als een trein. De firma was rijk en de mensen waren arm maar er werd niet gemopperd. Regels van management waren voornamelijk impliciet en konden allen tezamen op een klein blaadje, maar niemand vroeg om meer managementconcepten. Research kende geen contractwerk maar wist als vanzelfsprekend de divisies te rugdekken op de nieuwe fronten van halfgeleidertechniek, televisietechniek en computertechniek. Philips producten voerden niet veel pure Philips-basisvindingen, maar het marktaandeel was groot en de

marges waren ruim. Het is onrechtvaardig om deze situatie boven latere situaties te verheffen maar de kale observatie is daarom nog niet onjuist. Het leven kende een comfort dat in kwantitatieve termen van welvaart niet te vangen is. De sollicitatie van Jan Davidse bij Philips Nat. Lab. zal wel gelopen zijn zoals dat gebruikelijk was: tussen het werk door doorgegeven van radargroep naar TV-groep, van telecommunicatie naar computers als een vreemd maar welkom object volgens een acuut opgesteld bezoekschema. Aan het eind mocht hij zijn voorkeur uitspreken maar werd overtuigd dat het leuk was in de groep waarvoor binnenskamers al eerder was vastgesteld dat de nood aan academici het grootst was. Hij kwam bij de televisiegroep. De baas was ene Haantjes. Ook hij zou huidige innovatiegoeroes alsnog in ernstige problemen brengen als ze hem als case-story in hun cursus moesten opnemen. De academische vorming van Haantjes lag bij de zeer lage temperaturen in Leiden maar hij was een allround vakman in de televisie-techniek. Haantjes had een ingeboren scepsis tegenover technische nieuwlichterij als videorecording, kleurentelevisie en transistors, wat niet verhinderde dat zijn groep de Philips techniek met sterke resultaten opstuwde. De publicaties van Haantjes waren op één hand te tellen, maar zijn technisch-wetenschappelijk woord had wereldwijde bekendheid en gezag.
En dan: hij was bepaald geen man van sociaal verkeer buiten het werk, maar zijn groep had een samenhang en teamspirit bij het chauvinistische af. Zij bekenden zich tot in lengte van dagen na hun vertrek tot oud-bewoners van dit nest. Misschien lag het ook wel een beetje aan het vak. Een vak dat zijn resultaten vaak toegankelijk kan maken voor een groot publiek. Een vak dat nauw verbonden is met consumentenemoties in de samenleving. Een vak dat ook nauw verbonden is met de wereld van podiumkunst en journalistiek.

Jan Davidse nestelde zich gemakkelijk. Hij paste in de combinatie van nuchterheid en speelsheid. Hij ontwikkelde een intelligente nauwgezette aanpak en een licht badinerende, wat omstandige wijze van commentariëren. Eén van de grote onderwerpen was kleurentelevisie dat in de ambivalentie van industrieel werknemer versus academische cultuurdrager binnen de laboratoriumkamers met grote inzet en creativiteit werd bedreven en in de koffiekamer wijsgerig en sociaalwetenschappelijk in twijfel werd getrokken.
Kleurentelevisie kende zoals te verwachten valt drie problemen: hoe neem ik het op, hoe breng ik het over en hoe geef ik het weer.
Jan Davidse heeft zich verregaand bemoeid met twee van de drie problemen: de overdracht en de weergave. Hij heeft doorwrochte, experimentele, signaalanalytische studies gemaakt van de voorgestelde overdrachtsystemen met een volledigheid en een precisie als nergens elders gedaan is. Beeldkwaliteit en elektronische haalbaarheid waren daarbij cruciale criteria, maar een fascinerend derde desideratum was de compatibiliteit. Compatibiliteit betekent dat bestaande ontvangers (dus zwart-wit) nieuwe (dus kleuren)-uitzendingen kunnen volgen en nieuwe (dus kleuren) ontvangers bestaande uitzendingen. Deze eis heeft tot een verrassende truc van bandbreedte-zuinigheid geleid waarbij een geraffineerd gebruik werd gemaakt van kleurenperceptie-eigenaardigheden enerzijds en signaaleigenschappen in frequentie- en tijdsdomein anderzijds.
Even opwindend waren de verwikkelingen in het internationale overleg over de kleurentelevisiestandaard, waarbij "Douce France" het bestond ten tweede male in de TV-geschiedenis een koers van querulant nationalisme te voeren door een overbodige variant uit te vinden op het briljante werk dat de Amerikanen al hadden verzet. Jan Davidse heeft geduldig en trefzeker eigenlijke en oneigenlijke claims in deze standaardkluwen ontrafeld (de Fransen brachten niet de enige variant en niet alle varianten waren zo "frans") en op de dimensies subjectieve kwaliteit, elektronische desiderata en compatibiliteit geprojecteerd.

In het weergeef-probleem heeft Jan een veel avantgardistischer positie ingenomen omdat hij hier een origineel alternatief voor het toen tien jaar oude schaduwmaskerconcept heeft onderzocht. De schaduwmaskerbuis is een combinatie van drie beeldbuizen ineen waarbij de superpositie van drie beeldvlakken wordt tot een mozaïek van rode, groene en blauwe beeldpunten, welke drie groepen ieder door hun eigen kanon, en uitsluitend door hun eigen kanon, worden bestraald. Dit was een nogal elektronen-optisch huzarenstukje dat sterk steunde op de schaduwwerking van een gaatjesmasker, vandaar de naam. Waar de rode,groene en blauwe beeldpunten ruimtelijk gescheiden zijn opgesteld, ligt de optie voor de hand om alle kleurpunten na elkaar, aan te stralen met een kanon (hij komt toch langs). Die ene elektronenstraal moet dan natuurlijk wel snel wisselend per positie de juiste rode, groene resp.blauwe signaalinformatie krijgen. Zulks is niet te realiseren zonder voortdurende informatie- over de positie van de elektronenstraal, welke ontleend wordt aan een extra luminescerend effect van die straal. In dit concept heeft men de problemen verschoven van de elektronenoptica naar de elektronica; met een revolutionaire toename van de elektronische mogelijkheden voor de boeg een niet zo onverstandige keuze. Deze indexbuis zoals hij heette heeft het niet gehaald, ondanks het knappe werk van Jan Davidse. Ook niet onder zijn opvolgers zoals Pieter van de Avoort die existentiebewijs op existentiebewijs stapelde.
Is dit een falen ? Nee, dit is een boeiend en onvermijdelijk aspect van technische innovatie. Op de overgang van existentiebewijs naar prototype, op de grens van R en D moet de ondernemersbeslissing over het grote geld en het grote risico worden genomen.
Uiteraard zijn daarbij vier mogelijkheden: terecht wel, terecht niet, wel en onterecht niet. Dat kan met vroegere nouveauté's als plumbicon, videofoon, beeldplaat en walkman worden geadstrueerd.

In 1964 verdedigt Jan Davidse zijn proefschrift over de twee onderwerpen kleurentransmissie en kleurenweergave. Maar ook in 1964 verlaat hij het Nat.Lab. wegens een honorabel aanbod van zijn oude hogeschool. De "colourtelevisionparty" was nog niet over. Toen ze Jan Davidse uitzwaaiden werd in het nieuwe laboratorium een volledig nieuwe TV-studio gebouwd, klaar om de voorlopig laatste researchgolf in KTV te verwerken: een daadwerkelijke praktijkproef, waarin de omroepverenigingen met deze nieuwe beeldkunst konden spelen.
Het is geen slechte leefregel om de party te verlaten als het feest nog in volle gang is; bovendien er ligt dan een aardig stukje elektronica voor hem.

In 1967 gaan de kleurenuitzendingen van het Nederlandse omroepbestel officieel van starten begint de verkoop van kleurenontvangers. Jan Davidse zal zijn studenten perfect kunnen uitleggen hoe die dingen werken maar de volle prijs voor de zijne moeten betalen en hij zal bij het kijken nu en dan nog een oude tune in zijn oren hebben die ik hem nog een keer wil laten horen . ("Petite Fleur ", Monty Sunshine op clarinet).

Föderation de nationalen elektrotechnischen Vereinigungen Europas
Convention of National Societies of Electrotechnical Engineers of Europe
Convention des Sociétés nationales d'Electriciens de l'Europe

EUREL

October 1994

EUREL PRESS RELEASE

Best European Technical Paper

A paper by Dipl El-Ing ETH Andreas CURIGER entitled "Eine Alternative zum amerikanischen DES-Chiffrier-Code " was judged the best technical paper published by a Member Society of the Convention of National Societies of Electrical Engineers of Europe (EUREL).
EUREL comprises 17 Societies in 14 countries representing 250,000 European professional Electrical Engineers.

The paper was published in "Bulletin" *9/1992* of the *Schweizerischer Elektrotechnischer Verein/Association Suisse des Electriciens (SEV/ASE)* in Switzerland.

The author, Dipl Ing Curiger, received the Prize from *Mr R Brüderlin,* EUREL President-elect and Switzerland/ Austria Region representative at the EUREL Executive Committee, at a dinner hosted by the *Österreichischer Verband für Elektrotechnik (ÖVE)* in Vienna in September 1994.
The Prize, comprising ECU 3,000, was handed over to Dipl-Ing Curiger who also received a certificate.

The EUREL Prize was inaugurated in 1991 for the best paper to be published in a technical publication of a EUREL Member Society.
This is the fourth time the annual award has been made.

For further information, contact:

EUREL GENERAL SECRETARIAT
Galerie Ravenstein 4, Box 3
1000 Brussels
BELGIUM

Tel: ++32.2.513.82.36
Fax: ++32.2.513.82.44

MMC - dag 1995
Mobiele Multimedia Communicatie
Wensen en mogelijkheden.
24 januari 1995
Techniek Museum, Delft

Presentatie van de interfacultaire onderzoeksplannen aan de TU Delft :

- Positionering van MMC producten
- Werkcoördinatie en MMC
- Gebruikersinterface voor MMC
- Asynchrone Transfer Mode (ATM) voor MMC
- Transmissieprotocollen voor MMC
- Compressie technieken voor MMC
- Beeldanalyse voor MMC

's middags vier lezingen door :

A. Heijl, ECT, Rotterdam
A. Krishnakumar, AT&T Bell Labs Nieuwegein
J. Malenstein, Korps Landelijke Politiediensten
R. Plompen, PTT Telecom, Den Haag

Kosten *f* 50,- (studenten *f* 15,-) inclusief lunch

Nadere informatie komt beschikbaar via Internet op WWW
Zie: Delft University of Technology (TU Delft)
Industrial Design Engineering (Industrieel Ontwerpen)
Opgeven bij Elektrotechniek, secretariaat TVS
Telefoon 015 - 78 61 93

Conferentie-aankondiging

Call for Papers:
IFIP TC 6. Task Group Wireless Communications
organizes two-day workshop:
Personal Wireless Communications
(Wireless Local Access)
April 24-25, 1995
Prague, Czech Republic.
Organizer: Jan Slavik.
Tel: +42 2 7992 351
Fax: +42 2 7934 588

Fourth IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management
1 - 5 mei 1995
Red Lion Inn, Santa Barbara
California, USA
Informatie: Mary Olson
ISINM '95
P.O. Box 22605, Santa Barbara, CA 93101
Tel: +1 805 569 1222 Fax: +1 805 569 2227
Email: ISINM@cs.ucsb.edu

Call for papers:
Sixth International Conference on
Radio Receivers and Associated Systems
26 - 28 september 1995
University of Bath, UK
Contact: RRAS'95 Secretariat
The Institution of Electrical Engineers
Savoy Place
London WC2R OBL, UK
Tel: +(0) 71 344 5477/5478
Fax: +(0) 71 497 3633
Email:conference@iee.org.uk

Cursus-aankondiging

- Master of Business Telecommucations (MBT)
  De opleiding gaat 13 maart 1995 weer van start

- Ondernemen met Telematica
  Tiendaagse cursus, gericht op toepassingsmogelijkheden van telematica

- Nieuwe Regels en Kansen in Telecommunicatie
  Tweedaagse cursus m.b.t. regulering en marktontwikkeling
  Start: 26 januari 1995

TOPTECH STUDIES
TU DELFT
Tel: 015 - 788019
Fax: 015 - 781009

Tijdschrift van het Nederlands Elektronica- en Radiogenootschap

deel 59 - nr.4-1994

Inhoud

Druk en DTP: Drukkerij Van Ek, Driebergen